



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**OPTIMALIZACE VYTÁPĚNÍ BYTOVÉHO DOMU**

OPTIMIZATION OF FLAT HOUSE HEATING

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Ján Fodor**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Martin Lisý, Ph.D.**

**BRNO 2017**



## Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Bc. Ján Fodor**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Energetické inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Martin Lisý, Ph.D.**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### Optimalizace vytápění bytového domu

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je seznámit se s problematikou vytápění bytového domu, zejména s dostupnými technologiemi, včetně možné kogenerace v rámci vytápění. Na konkrétním bytovém domě provést analýzu současného stavu a provést technicko-ekonomickou optimalizaci systému dodávek tepla.

#### Cíle diplomové práce:

Analyzovat a popsat současný stav potřeby tepla a stanovit denní a roční diagramy trvání potřeb tepla  
Navrhnout a optimalizovat alternativní varianty vytápění, včetně možnosti kogenerace  
Provést technicko–ekonomické porovnání daných variant

#### Seznam literatury:

KRBEK, Jaroslav, Jan FIEDLER a Bohumil POLESNÝ. Strojní zařízení tepelných centrál: návrh a výpočet. 1. vyd. Brno: PC-DIR, 1999, 217 s. ISBN 80-214-1334-4.

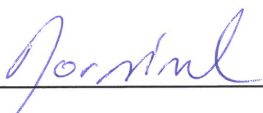
KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích. Brno: PC-DIR, 1997, 100 s.

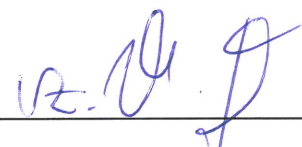
KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Projektování tepelných centrál. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1986.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 27. 10. 2016



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Táto diplomová práca sa venuje problematike zásobovania teplom konkrétneho bytového domu v Brne. Ako na vykurovanie, tak aj na ohrev teplej úžitkovej vody. V úvode sa nachádza oboznámenie sa s posudzovaným objektom aj všeobecne, ale hlavne s ohľadom na momentálnu situáciu so spotrebou a dodávkou tepla. Následne práca popisuje jednotlivé možnosti zaobstarávania tepla. Sú tu spomenuté klasické zdroje tepla ako plynové kotly, ale aj menej používané ako kogeneračné jednotky alebo solárne kolektory. Ďalej práca počíta z technického a ekonomického hľadiska investorom zvolené varianty pre vykurovanie. Nakoniec práca porovnáva jednotlivé možnosti z hľadiska prínosov, rozpočtov a návratností možných investícií.

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the supply of heat in a particular block of flats in Brno. It deals with supply for heating and for hot water heating. The introduction gives information about the considered building and also generally, but especially with regard to the current situation with consumption and heat supply. Subsequently, the thesis describes the individual possibilities of obtaining heat. There are mentioned classical heat sources as gas boilers, but also less commonly used as co-generating units or solar collectors. Furthermore, the work is calculating from the technical and economic point of view for heating options chosen by the investor. Finally, the work compares the options from viewpoint of benefits, budgets and returns of possible investments.

## **Klíčové slová**

Vykurovanie, bytový dom, plynový kotol, kogeneračná jednotka, tepelné čerpadlo, TUV, investičná návratnosť.

## **Keywords**

Heating, block of flats, gas boiler, cogeneration unit, heat pump, hot service water, payback period.

#### **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA MOJEJ PRÁCE**

**FODOR, J. *Optimalizace vytápění bytového domu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 57 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Lisý, Ph.D..**

## **Prehlásenie o pôvodnosti**

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu na tému „Optimalizace vytápění bytového domu“ vypracoval samostatne a všetky použité zdroje a literatúru som úplne a právne citoval. Diplomová práca je z hľadiska obsahu majetkom Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně a môže byť použitá ku komerčným účelom len so súhlasom vedúceho diplomovej práce a dekana FSI VUT v Brně.

25.05.2017

.....

Bc. Ján Fodor

Na tomto mieste by som rád poďakoval vedúcemu diplomovej práce Ing. Martinovi Lisému, Ph.D. za cenné rady a pripomienky pri spracovávaní diplomového projektu.





## Obsah

1. Úvod .....	10
2. Popis objektu .....	11
3. Výpočet strát bytového domu .....	13
3.1 Popis lokality .....	13
3.2 Spotřeba tepla .....	13
3.2.1 Výpočet spotřeby tepla .....	14
3.2.2 Skutočná spotřeba tepla .....	17
4. Přehled možností.....	19
4.1 Plynový kotol .....	19
4.2 Tepelné čerpadlo .....	22
4.3 Kogeneračná jednotka .....	24
4.4 Solárne kolektory.....	27
4.5 Ďalšie možnosti vykurovania .....	30
5. Výpočty vybraných variantov .....	31
5.1 Plynová kotolňa.....	32
5.2 Kogeneračná jednotka .....	40
6. Porovnanie jednotlivých variantov .....	49
7. Záver.....	52
Literatúra .....	53
Použité skratky a symboly.....	55

## 1. Úvod

V dnešnej dobe je snaha úspor všade, kde je to možné. Náklady na teplo nie sú zanedbateľné. Z časti je to spôsobené klimatickým pásmom strednej Európy, kde je vykurovacia sezóna 222 dní v roku. Naskytuje sa tu potenciál nemalej finančnej úspory. Posudzovaný bytový dom je napojený na centrálné zásobovanie teplou vodou v Brne. Teplárenstvo sa nenachádza v ľahkej situácii. Znižuje sa im odber tepla (zatepľovanie a odpájanie od centrálného vykurovania) a zvyšuje sa potreba investícií do rekonštrukcie teplovodov. To spôsobuje teplárňam zvyšovanie relatívnych nákladov na výrobu tepla. Alternatívy vykurovania môžu so sebou niesť úsporu prevádzkových nákladov, ale nesú so sebou aj investičné náklady.

Úlohou práce je zhodnotiť aj iné varianty dodávky tepla do objektu a navzájom ich porovnať. Alternatívnych možností sa naskytuje viacero: plynový kotol, tepelné čerpadlo, kogenerácia tepla a elektriny alebo aj solárne kolektory. Nie všetky možnosti sú však vhodné pre posudzovaný bytový dom. BD Majdalenky bol totiž navrhnutý a zrealizovaný na dodávanie tepla z teplovodu.

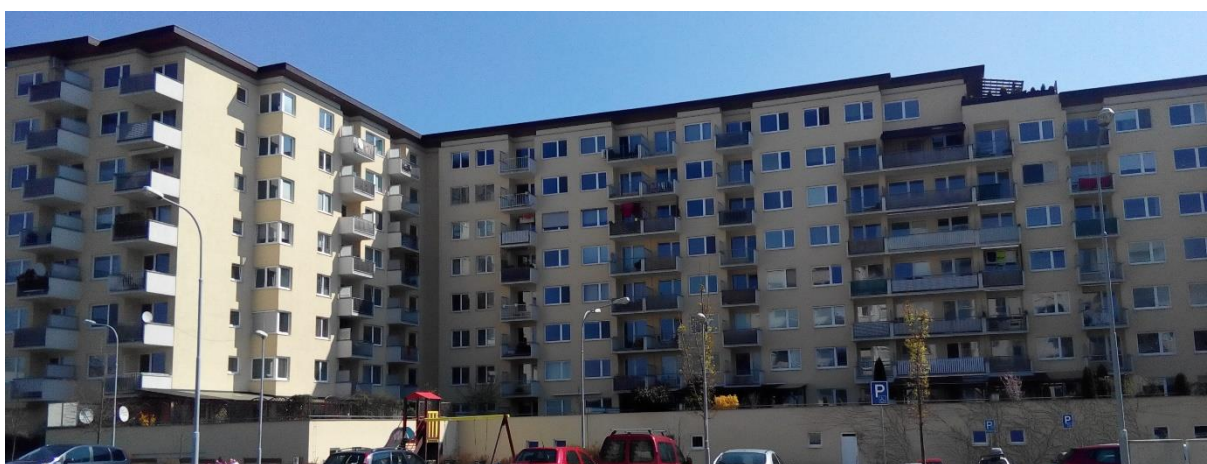
Práca bude obsahovať popis súčasného stavu, kde bude zostrojený ročný diagram potreby tepla. Následne práca popíše jednotlivé možnosti zdrojov tepla. Všetky možnosti sa však nehodia pre posudzovaný objekt, preto v ďalšej časti práca už bude hodnotiť konkrétne návrhy, ktoré sú vhodné pre BD Majdalenky. Práca bude riešiť uskutočniteľné technické riešenia z ekonomického hľadiska a vzájomne ich porovná. Ďalej v práci bude aj citlivostná analýza pre zmeny cien paliva alebo tepla.

## 2. Popis objektu

Bytový dom „Nové Majdalenky“ sa nachádza v meste Brno – Lesná. Bytový dom pozostáva z dvoch podzemných poschodí a ôsmich nadzemných poschodí. Podzemné poschodia sú určené pre garáže, sklady a podobne. Nadzemné poschodia sú určené k bytovým priestorom a obsahujú 145 bytových jednotiek a 2 nebytové jednotky. Bytový dom má rovnú strechu. Objekt bol dostavaný a skolaudovaný v roku 2009. [4]

Teplo v bytovom dome je zaistené z teplovodu Teplárny Brno. Z tohoto teplovodu sa vo výmenníkovej stanici prenáša teplo do sekundárneho systému. V systéme sa využíva tepelný spád 75 °C/ 60 °C. Vo výmenníkovej stanici sa zároveň meria spotreba tepla pre celý objekt. Jednotlivé byty sú vykurované pomocou predávacích staníc. Tieto stanice sú regulované podľa referenčnej miestnosti v byte a ostatné miestnosti sú doregulované termostatickými ventilmi. Vykurovacími telesami v bytoch sú doskové radiátory a v kúpeľniach trubkové radiátory. TUV v bytoch je ohrievané cez doskový výmenník tepla. [5]

Konštrukcia obvodového plášťa obytnej časti pozostáva z keramických tvárnic a je doplnená kontaktným zatepľovacím systémom z dosiek minerálneho vlákna. Obvodový plášť je doplnený oknami so súčiniteľom prestupu tepla  $U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Vnútorne nosné steny sú zo železobetónu hrúbky 180 mm, alebo sú postavené z keramických tvárnic. Železobetónové steny oddeľujú priestor medzi bytmi a schodiskom, kde sa predpokladá rozdiel teplôt do 5 °C. Na týchto stenách sa nachádza termoizolačná omietka hrúbky 15 mm. Stropná konštrukcia oddeľujúca priestory bytov od nevykurovaných priestorov podzemných poschodí je doplnená o tepelnú izoláciu EPS hrúbky 60 mm v podlahe a kontaktným zatepľovacím systémom s doskami z minerálnych vlákien o hrúbke 100 mm zo strany nevykurovaného priestoru. Strecha je dvojplášťová vetraná, s tepelnou izoláciou z minerálnych vlákien hrúbky 200 mm zo strany stropnej konštrukcie. Horný plášť je čiastočne zateplený polystyrénom hrúbky 50 mm. [5]



Obr. 2.1 Bytový dom „Nové Majdalenky“.

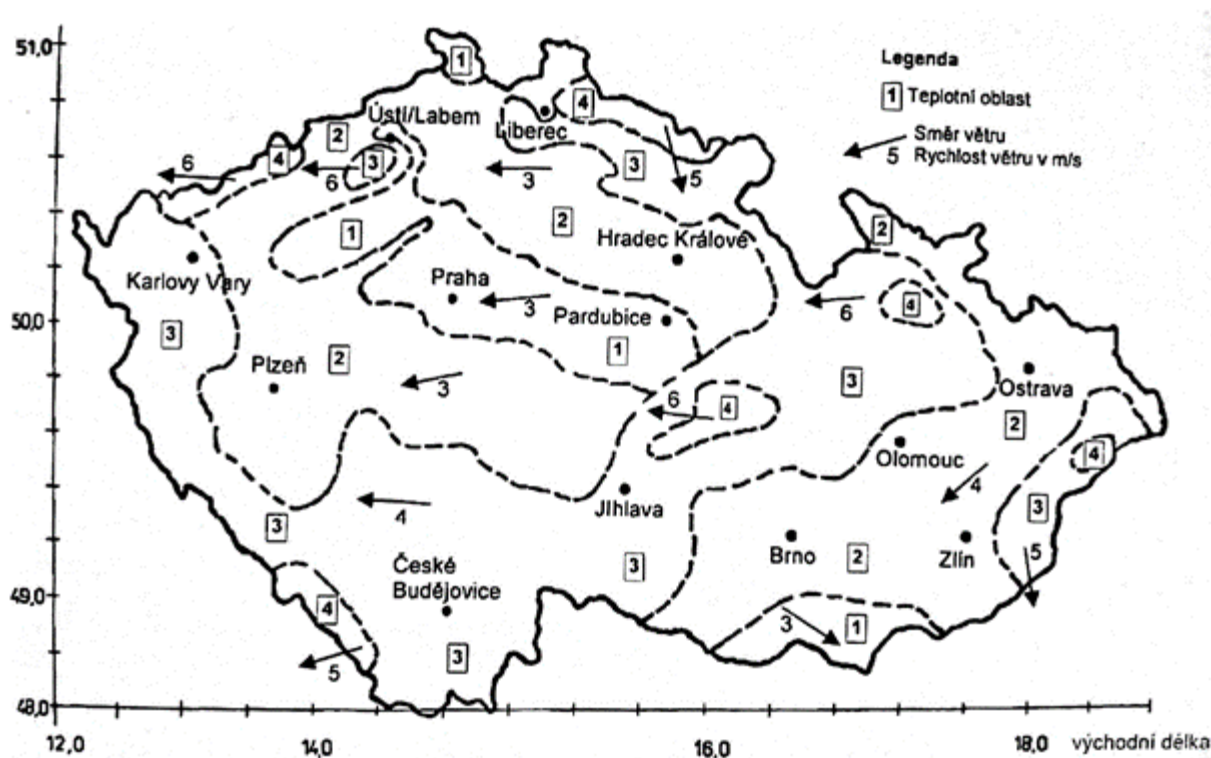


Obr. 2.2 Výmenníková stanice.

### 3. Výpočet strát bytového domu

#### 3.1 Popis lokality

Bytový dom stojí v meste Brno, podľa mapy na obrázku 2.1 sa nachádza v teplotnej oblasti 2. V tejto oblasti je výpočtová teplota  $-12^{\circ}\text{C}$ , počet vykurovacích dní je 222, priemerná teplota  $3,6^{\circ}\text{C}$ . Brno patrí do oblasti s intenzívnym vetrom.



Obr. 3.1 Mapa teplotných oblastí ČR. [6]

#### 3.2 Spotreba tepla

Spotreba tepla bude získaná dvoma spôsobmi. Po prvé bude spočítaná ako súčet strát tepla cez konštrukciu budovy a spotreba na ohrev TUV. Po druhé bude spotreba tepla získaná na základe informácií o spotrebe tepla z merania. Výsledok prvého prípadu bude vhodné použiť na výkon vykurovacieho zariadenia. A výsledok v druhom prípade bude vhodné použiť pre výpočet návratnosti jednotlivých investícií, keďže bude odpovedať viac realite.

### 3.2.1 Výpočet spotreby tepla

Výpočet tepelných strát budovy je spočítaný pomocou normy ČSN 73 0540-2. Vypočítaná energetická náročnosť budovy slúži k hodnoteniu budovy za vzájomne porovnateľných podmienok. Tepelné straty budovy závisia od stavebného riešenia. Podľa normy [8] sa hodnotí doporučený súčiniteľ prestupu tepla  $U_{N,rc}$  a priemerný súčiniteľ prestupu tepla  $U_{em}$  konštrukcie na obálke budovy. Pričom budova musí spĺňať podmienku:

$$U_{em} \leq U_{em,N}$$

Úroveň stavebne energetických vlastností budovy sa klasifikuje podľa tabuľky v ČSN 73 0540-2 pomocou stupňa tepelnej náročnosti (STN) v %, ktorý sa stanoví pomocou vzťahu:

$$STN = 100 * \frac{U_{em}}{U_{em,N,ra}} [\%] \quad (3.1)$$

kde  $U_{em,N,ra}$  je požadovaná hodnota priemerného súčiniteľa prestupu tepla, ktorý sa vypočíta podľa vzťahu:

$$U_{em,N,ra} = 0,3 + \frac{0,15}{A/V} [W.m^{-2}.K^{-1}] \quad (3.2)$$

kde  $A$  je celková plocha vonkajšej ochladzovacej konštrukcie ohraničujúcej objem budovy v  $m^2$ , a  $V$  je objem budovy v  $m^3$ .

Vyhovujúca budova má  $STN \leq 100 \%$ .

Vonkajší objem budovy nezahŕňa lodžie, rímsy, atiky a základy -  $V = 54\,033\,m^3$ . Celková plocha  $A$  je súčet vonkajších plôch ochladzovaných konštrukcií ohraničujúcich objem budovy -  $A = 15\,338\,m^2$ . Z daného vyplýva faktor tvaru budovy:

$$\frac{A}{V} = \frac{15\,338}{54\,033} = 0,284 [m^{-1}] \quad (3.3)$$

Ďalej sa počíta s prevažujúcou vnútornou teplotou vo vykurovacom období  $\theta_{in} = 23\,^{\circ}C$ , vonkajšia návrhová teplota v zimnom období  $\theta_e = -12\,^{\circ}C$ .

Tabuľka 3.1 Charakteristika energeticky významných údajov ochladzovaných konštrukcií.

TYP KONŠTRUKCIE	PLOCHY $A_i$ (M <sup>2</sup> )	$U_{p,i}$ (W.M <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> )	POŽIADAVKA $U_{N,i}$ (W.M <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> )	ČINITEĽ TEPLOTNEJ REDUKCIE $B_i$ (-)	$H_{T,i}=A_i.U_i.B_i$ (W.K <sup>-1</sup> )
PLÁŠŤ - PLNÁ ČASŤ BUDOVY	5 287	0,37	0,38	1,00	1956,19
PLÁŠŤ - OKNÁ BUDOVA	3 259	1,1	1,70	1,15	4122,64
VSTUPNÉ DVERE	39	1,4	1,70	1,15	62,79
STROP MEDZI 1PP A 1NP	1970	0,28	0,60	0,49	270,28
STRECHA – DVOJPLÁŠŤOVÁ	1201	0,19	0,24	1,00	228,19
STRECHA - TERASY	769	0,17	0,24	1,00	130,73
VNÚTORNÁ OCHLADZOVANÁ STENA - ŽELEZOBETÓN	1463	2,44	2,70	0,14	499,76
VNÚTORNÁ OCHLADZOVANÁ STENA – KERAMICKÉ TVÁRNICE	1350	2,07	2,70	0,14	391,23
TEPELNÉ VÄZBY MEDZI KONŠTRUKCIAMI	15 338	0,1	-	1,00	1 533,8
<b>CELKOM</b>	<b>15 338</b>				<b>9 195, 61</b>

Výpočet priemerného súčiniteľa tepla:

$$U_{em} = \frac{H_r}{A} = \frac{9\,195,61}{15\,338} = 0,599 \text{ [W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}\text{]} \quad (3.4)$$

Požiadavka z rovnice 3.2:

$$U_{em,N,ra} = 0,3 + \frac{0,15}{0,284} = 0,83 \text{ [W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}\text{]} \quad (3.5)$$

Z predchádzajúcich výpočtov vyplýva z rovnice 3.1:

$$STN = 100 * \frac{0,599}{0,83} = 72,3 \text{ [%]} \quad (3.6)$$

Podľa rovnice 3.6 budova bytového domu spadá do kategórie C.

Podľa rovnice 3.7 sa vypočíta návrhový tepelný stratový výkon bytového domu pri vonkajšej návrhovej zimnej teplote:

$$\Phi_T = H_T * (\theta_{in} - \theta_e) = 9,195 * (20 - (-15)) = 321,85 \text{ [kW]} \quad (3.7)$$

Následne sa z vypočítaného výkonu vypočíta ročná spotreba tepla na vykurovanie [9]:

$$Q_{VYT} = \frac{\varepsilon}{\eta_0 * \eta_r} * \frac{24 * \Phi_T * D}{(\theta_{in} - \theta_e)} * 3,6 * 10^3 \text{ [J]} \quad (3.8)$$

Hodnota súčiniteľa  $\varepsilon$  bola zvolená  $\varepsilon = 0,7$  [-]. Je doporučená na základe typu objektu (viacposchodový bytový dom) a na základe regulácie vykurovania (termostatické hlavice). Súčiniteľ  $\eta_0$  odpovedá účinnosti obsluhy. Pri výmenníkovej stanici nie je potrebná obsluha, preto  $\eta_0 = 1$  [-]. Súčiniteľ  $\eta_r$  zodpovedá účinnosti rozvodom vykurovania, a z dôvodu veľkosti

objektu bola zvolená hodnota  $\eta_r = 0,98$  [-]. Hodnota člena D bola vypočítaná na základe vzťahu:

$$D = d_p * (\theta_{in} - \theta_{m,e}) \text{ [K]} \quad (3.9)$$

Člen  $d_p$  je počet vykurovacích dní, a podľa normy [7]  $d_p = 222$  dní. Z tej istej normy bola získaná hodnota pre ročnú priemernú teplotu vzduchu  $\theta_{m,e} = 3,6$  °C.

Po dosadení do rovnice 3.8 sa rovná návrhová ročná spotreba tepla na vykurovanie  $Q_{VYT} = 2\,066$  GJ.

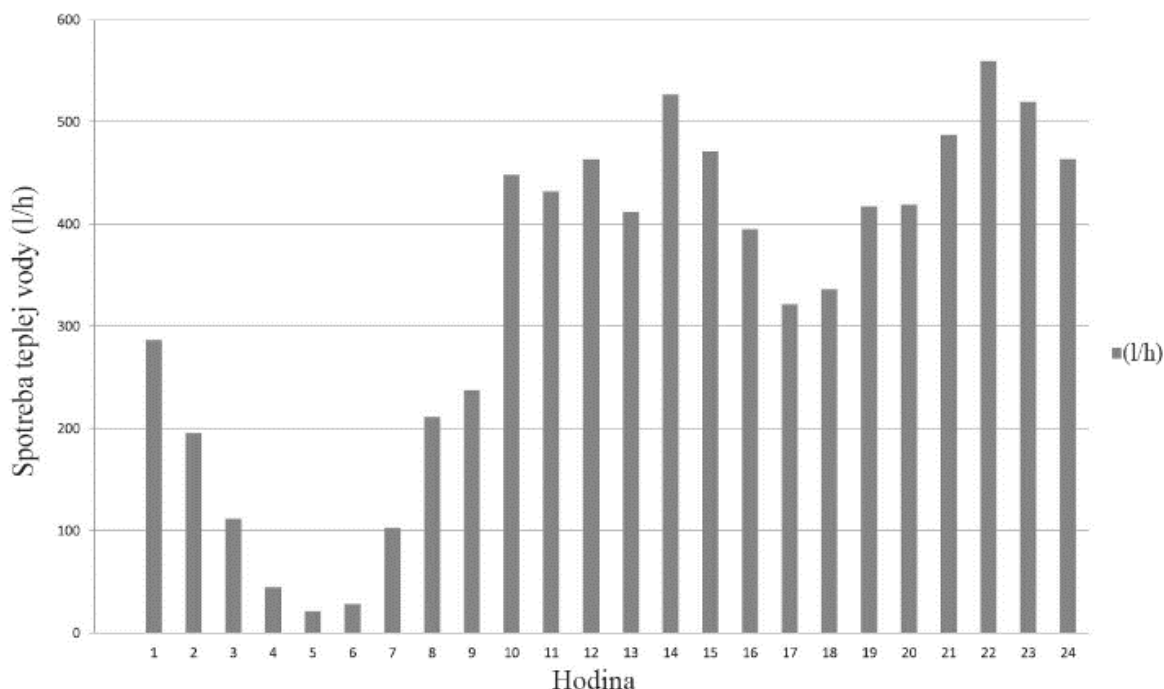
Ďalej sa teplo z teplárne spotrebúva aj na ohrievanie TUV. Teplo sa spočíta na základe kalorimetrickej rovnice ako  $Q_{TUV}$ :

$$Q_{TUV} = \rho_v * V_d * 365 * c_v * (t_{TUV} - t_{s,v}) \text{ [J]} \quad (3.10)$$

Člen v rovnici  $\rho_v$  je hustota vody, preto  $\rho_v = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ . Člen  $c_v$  je merná tepelná kapacita vody. Ohrieva sa bežná voda, preto  $c_v = 4\,180 \text{ J.kg}^{-1}$ . Nasledujúce členy sú  $V_d$  – objem dennej spotreby TUV,  $t_{TUV}$  – teplota ohriatej TUV, a  $t_{s,v}$  – teplota studenej vody.

Údaje o dennej spotrebe boli odhadnuté podľa iného bytového domu [10]. Posudzovaný bytový dom v práci je väčší, ale predpokladá sa rovnaká priemerná spotreba TUV na byt. Po predchádzajúcom predpoklade sú hodnoty  $V_d = 15,83 \text{ m}^3$  a  $t_{TUV} = 52$  °C. V predchádzajúcej úvahe je možné zanedbať rozdielnú teplotu TUV na objekte v článku [10] a na posudzovanom objekte. Práca počíta spotrebované teplo, a preto nezáleží iba na teplote TUV, ale aj na spotrebovanom množstve (pri vyššej teplote TUV si ju obyvatel' bytového domu aj tak zreguluje pomocou vodovodnej batérie). Teplota studenej vody sa uvažuje priemerne  $t_{s,v} = 10$  °C.

Graf 3.1 Denný odber teplej vody v bytovom dome so 72 bytmi. [10]





Po dosadení do rovnice 3.10 je teplo spotrebované na výrobu TUV  $Q_{TUV} = 1\,014$  GJ. Z toho vyplýva výpočtová spotreba tepla za rok:

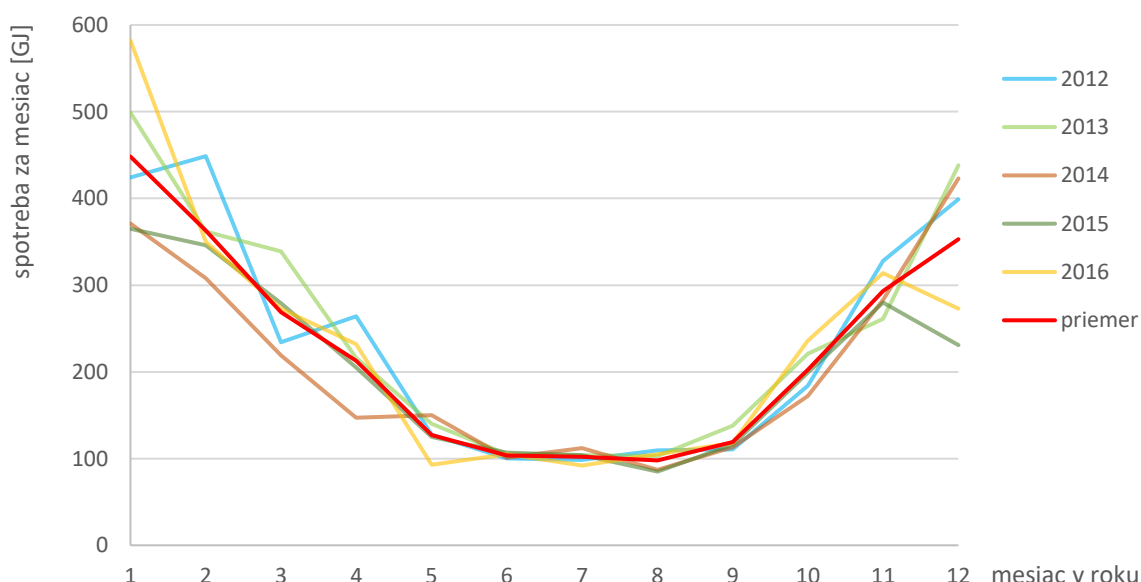
$$Q_V = Q_{VYT} + Q_{TUV} = 2\,066 + 1\,014 = 3\,080 \text{ [GJ]} \quad (3.11)$$

### 3.2.2 Skutočná spotreba tepla

Skutočná spotreba tepla nezáleží len na výpočtových parametroch (návrhové hodnoty teplôt, vypočítané hodnoty prestupu tepla a pod.). V skutočnosti materiály stavby nemusia mať presne predpísané parametre (súčiniteľ prestupu tepla). Ani teploty vonkajšieho vzduchu nie sú rovnaké každý rok, čiže ani návrhové teploty neodpovedajú skutočnosti. Avšak ani výpočet nezodpovedá realite, pretože zanedbáva veľa drobností (napr. časovo premenlivý prestup tepla, tepelné mosty).

K dispozícii boli údaje spotreby tepla z výmenníkovej stanice za roky 2012, 2013, 2014, 2015 a 2016. Všetky tieto údaje sú zhrnuté v grafe 3.1.

Graf 3.2 Spotreba tepla v posudzovanom bytovom dome.



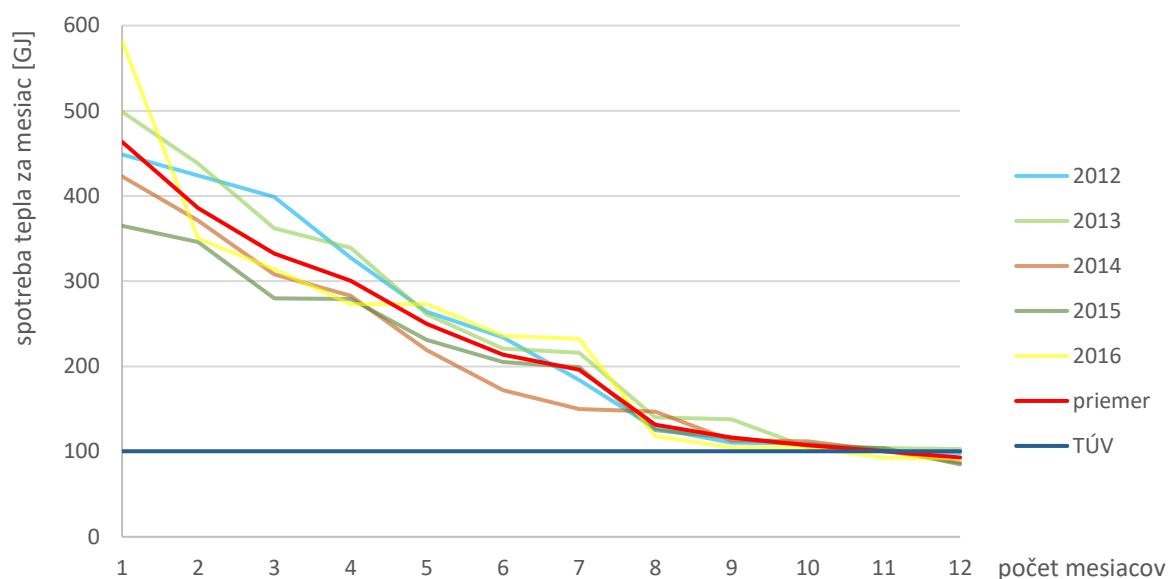
Z diagramu 3.2 je možné vyčítať spotrebu tepla na TUV. Za ôsmym mesiacom krivky klesajú výrazne menej a zároveň sú bližšie k priemeru. Ak sa predpokladá, že ôsmy a deviaty mesiac sa mohlo čiastočne vykurovať, tak z 10, 11 a 12 sa môže spraviť priemer a výsledná spotreba tepla bude odpovedať spotrebe tepla pre TUV. Z toho vyplýva:

$$Q_{TUV,s} = \frac{107,7 + 100,5 + 93}{3} * 12 = 1\,204,8 \text{ [GJ]} \quad (3.12)$$

Následne je možné z údajov o priebehu spotreby tepla spočítať priemernú celkovú spotrebu tepla za rok  $Q_{V,s} = 2\,691$  GJ.

Z predchádzajúcich údajov je možné zostrojiť diagram ročného trvania potrieb tepla:

Graf 3.3 Ročný diagram trvania potrieb tepla.



Skutočná spotreba tepla pre ohrev TUV je vyššia asi o 20 % oproti vypočítanej hodnote v predchádzajúcej kapitole. Môže to byť spôsobené iným počtom obyvateľov na byt, inou spotrebou TUV na obyvateľa, ale aj štatistickou odchýlkou. Pre ďalšie výpočty bude dôležitá skutočná spotreba tepla pre ohrev TUV. Napriek vyššej spotrebe tepla pre ohrev TUV, je naopak celková spotreba tepla nižšia približne o 13 %. Je to tým, že celková spotreba tepla viac závisí na strate tepla prestupom stavebnou konštrukciou. Posudzované roky 2012 – 2016 boli výrazne teplejšie ako predpokladá výpočet podľa normy. Vďaka protichodným odchýlkam výsledkov tepla pre TUV a tepla pre pokrytie strát ochladzovaním konštrukcie, sa celkové spotreby tepla líšia len o malý rozdiel.

V nasledujúcich kapitolách sa bude počítať so skutočnou celkovou spotrebou tepla, aby bolo ekonomické porovnanie blízko k realite. Naopak k návrhu správneho výkonu varianta bude slúžiť vypočítaná hodnota tepelného stratového výkonu a reálny priemerný denný výkon na spotrebu TUV. Týmto spôsobom bude návrh vykurovacieho systému na bezpečnej strane.

## 4. Prehľad možností

Vykurovanie budov sa rieši rôznymi spôsobmi. Historicky sa najprv vykurovalo pomocou pevného paliva. Najskôr to bolo drevo a neskôr aj uhlie. Toto vykurovanie bolo decentralizované a vo veľkých mestách spôsobovalo výrazné znečisťovanie vzduchu. Tento problém sa vyhrotil v Londýne v roku 1952. Tu v zime nastala teplotná inverzia, čiže vzduch sa nemal dôvod pohybovať a znečisťujúce látky sa nerozptyľovali do okolia. Hlavným problémom bol oxid siričitý z uhlia. Táto situácia trvala niekoľko dní a spôsobila dýchacie ťažkosti obyvateľstvu, a aj tisíce mŕtvych. Kvôli takýmto situáciám sa vo veľkých mestách začalo prechádzať na centralizované vykurovanie a vykurovanie zemným plynom. U centralizovaného vykurovania sa vysokými komínmi dostatočne rozptyľujú nečistoty. Pri vykurovaní zemným plynom vzniká málo znečisťujúcich látok. Dym sa skladá prevažne z oxidu uhličitého a vodnej pary.

V Českej republike sa centralizované vykurovanie začalo rozvíjať už v 20. rokoch minulého storočia. Súviselo to s rozvojom priemyslu a jeho potreba veľkého množstva tepla. Zároveň však vznikali aj nové štvrte, ktoré sa napájali na centrálné vykurovanie. Neskôr centralizované vykurovanie vo veľkých mestách vyhovovalo aj plánovanému hospodárstvu. V posledných rokoch je však často ekonomicky zaujímavejšie decentralizované vykurovanie.

V súčasnosti sa naskytuje na vykurovanie mnoho možností. Ako už bolo spomenuté je možné použiť kotol na tuhé palivá, plyné palivá a teoreticky aj kotol na kvapalné palivá. Následne je tu možnosť centrálného vykurovania (momentálna situácia na posudzovanom objekte). Ďalej sú k dispozícii menej používané spôsoby vykurovania ako je vykurovanie pomocou tepelného čerpadla, kogeneračnej jednotky alebo pomocou solárnych kolektorov. V neposlednom rade je možné kombinovať spomenuté spôsoby vykurovania.

### 4.1 Plynový kotol

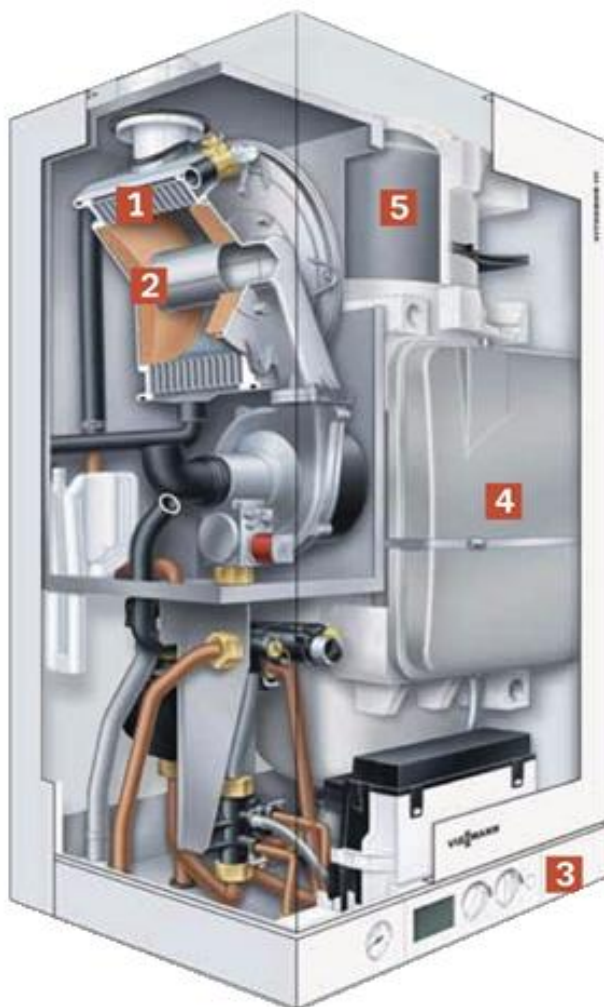
Vykurovanie pomocou plynového kotla patrí medzi najbežnejšie spôsoby vykurovania. Tento spôsob je jednoduchý a nevyžaduje si nečakané náklady. Plynové kotly sa bežne používajú ako hlavný alebo vedľajší zdroj tepla. Najbežnejšie sa vykuruje pomocou zemného plynu, ktorý je dopravený ku kotolni plynovým potrubím. Tým odpadá práca s palivom. Spaliny z plynového kotla sú odvádzané komínom. Nie je tu potreba vysokého alebo masívneho komína. Spaliny sa skladajú prevažne z oxidu uhličitého a vodnej pary. Navyše pri kondenzačných kotloch (teplota spalín 40 až 90 °C [11]) dochádza k čiastočnej kondenzácii vodnej pary na vodu. Z toho dôvodu sa musia používať vo výmenníkoch tepla v kotle a v komíne nekorozívne materiály. V dôsledku nízkej teploty spalín sa v komíne nevytvára potrebný ťah a používa sa vzduchový alebo spalínový ventilátor. Účinnosť kondenzačných kotlov sa pohybuje v rozmedzí 96 až 104 %. Spomínaná účinnosť sa počíta z výhrevnosti paliva, preto je možné dosahovať aj hodnoty vyššie ako 100 %.

Plynové kotly sa delia podľa rôznych hľadísk:

1. Podľa druhu spaľovaného paliva na:

- kotly na tuhé palivo
- kotly na kvapalné palivo
- kotly na plynné palivo
- elektrické kotly

Kotly na tuhé palivo sú historicky najstaršie. Ako palivo sa používa drevo, koks, brikety, hnedé a čierne uhlie. Kvapalné kotly sa používajú najčastejšie ako záložné. Ako palivo sa používa ľahký a ťažký vykurovací olej, ale aj predhriaty mazut. Plynové kotly sú využívané kvôli ich nízkym nákladom na údržbu. Ako palivo sa používa najčastejšie zemný plyn, ale aj bioplyn alebo propán-bután. Elektrické kotly vykurejú pomocou elektrického prúdu. Je to veľmi jednoduché riešenie.



Obr. 4.1 Nástenný plynový kondenzačný kotol Viessmann. 1 – Výmenník tepla Inox-Radial, 2 – Sálavý valcový horák MatriX. 3 – Digitálna regulácia, 4 – Expanzná nádoba, 5 – Nabíjací zásobník z ušľachtilej ocele. [13]

**2. Podľa tlaku na:**

- nízkotlakové do 50 kPa
- strednotlakové do 1,6 MPa
- vysokotlakové nad 1,6 MPa

**3. Podľa využitia odpadného tepla na:**

- konvekčné kotly
- nízkoteplotné kotly
- kondenzačné kotly

Konvekčné kotly patria medzi prvú generáciu. Charakterizuje ich teplota spalín vyššia ako 180 °C, kde teplota vykurovanej vody presahuje 65 °C. Výkon kotla sa reguluje ručne alebo poloautomaticky. Konvekčné kotly dosahujú účinnosť do 90 %. U nízkoteplotných kotlov ešte nedochádza ku kondenzácii vodnej pary zo spalín. Teplota spalín je nižšia ako 140 °C a teplota vody je nad 50 °C. Predpokladá sa stála prevádzka, aby nevznikal kondenzát. Vďaka nižšej teplote spalín (komínová strata je najväčšia strata) majú nízkoteplotné kotly vyššiu účinnosť – okolo 94 %. Kondenzačné kotly využívajú teplo zo spalín pomocou ich ešte nižšieho vychladenia. Teplo nezískajú iba z mernej tepelnej kapacity spalín, ale aj zo skupenského tepla vodnej pary. Tým je možné znížiť komínovú stratu. Kondenzácia vodnej pary so sebou nesie požiadavky na nekorozívne materiály v poslednom výmenníku tepla a zároveň vratná voda musí mať nízku teplotu (30 – 50 °C). [12]

Princíp kondenzačných kotlov už poznáme viac ako 100 rokov, avšak začali sa používať vo väčšej miere až nedávno. Celosvetovo sa vyvíja snaha o vyššie využitie primárnych surovín. Súvisí to pravdaže hlavne so zvyšovaním ceny primárnych surovín.

**4. Podľa konštrukcie na:**

- stacionárne
- nástenné

Stacionárne kotly sa umiestňujú na podlahu. Používajú ich staršie vykurovacie systémy alebo systémy s vyšším výkonom. Pre vykurovanie menších objektov sa dnes používajú nástenné plynové kotly. Sú veľmi kompaktné, a preto si nevyžadujú umiestnenie v technickej miestnosti.

**5. Podľa výkonu na:**

- malé zdroje tepla
- veľké zdroje tepla

Medzi malé zdroje tepla patria kotly rôzneho technického zhotovenia s maximálnym výkonom do 70 kW. Veľkým zdrojom tepla sa nazývajú kotly s tepelným výkonom do 3,5 MW. Používajú sa pre vykurovanie väčších budov ako napríklad bytové domy.

**6. Podľa účelu na:**

- jednokruhové
- dvojokruhové
- viacokruhové

Jednokruhové kotly sa spravidla používajú iba na vykurovanie. Dvojokruhové ohrievajú navyše aj TÚV a viacokruhové okrem vykurovania a ohrevu TÚV môžu slúžiť aj pre vzduchotechniku alebo iným technologickým účelom.

**7. Podľa použitého horáku:**

- atmosférický horák
- pretlakový horák

Atmosférický horák využíva pre odvádzanie spalín prirodzený ťah komína. Vzduch si tiež nasáva samostatne väčšinou z okolitého priestoru kotla. U pretlakových horákov sa používa ventilátor na nasávanie vzduchu. Tento spôsob riešenia je výhodné použiť pri dodatočnej montáži plynového kotla, ak je spalínovod napojený do komína, ktorý je využívaný aj iným kotlom.



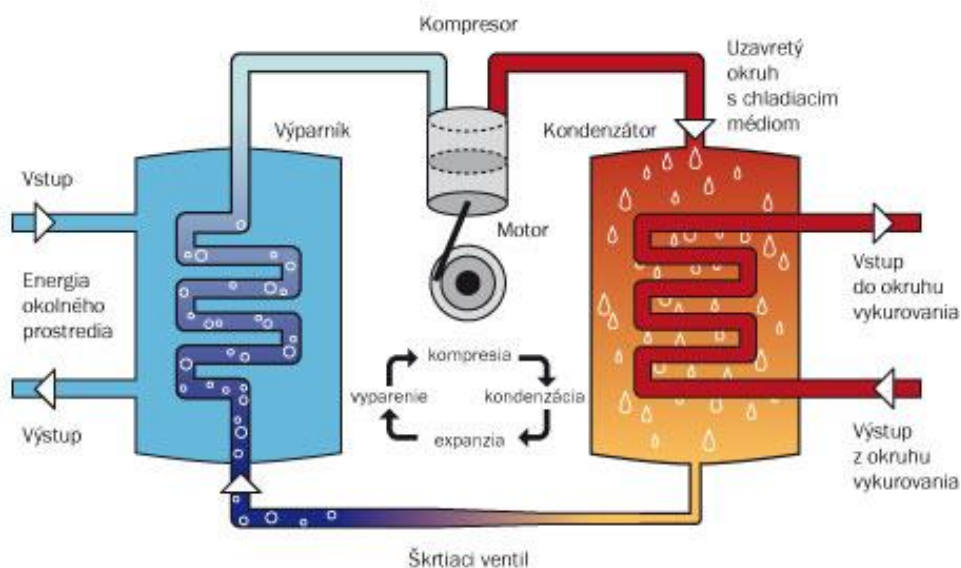
Obr. 4.2 Horák plynového kondenzačného kotla MatriX. [14]

## 4.2 Tepelné čerpadlo

Princíp tepelného čerpadla je známy už od 19. storočia. Viac sa touto problematikou začal zaoberať až Robert Weber v štyridsiatych rokoch minulého storočia. Všimol si, že sa kondenzátor jeho mraziaceho prístroja značne zahrieva. Tepelné čerpadlá sa začali využívať na vykurovanie vo väčšej miere až v sedemdesiatych rokoch minulého storočia ako dôsledok ropnej krízy. Keďže firmy s tepelnými čerpadlami nemali veľké skúsenosti, preto to bolo značne poruchové riešenie vykurovania. Po ústupe ropnej krízy a kvôli nespoľahlivosti systému sa začalo ustupovať od tepelných čerpadiel. Opätovný nárast

dopytu nastal až koncom 20. storočia a pretrváva až dodnes. Spôsobilo ho hlavne postupné zvyšovanie cien energií, ale aj záujem ľudí o ochranu životného prostredia. [15]

Tepelné čerpadlo funguje vďaka výparnému teplu pracovnej látky. Základný okruh je znázornený na obrázku 4.3. V prvom rade je potrebné, aby pracovná látka mala nižšiu teplotu varu ako je teplota studenej časti obehu. Teplota varu závisí silne na tlaku. Vo výparníku sa predpokladá obvykle približne atmosférický tlak, aby merný objem pracovnej látky vo výparníku nebol príliš veľký. Za škrtiacim ventilom klesne tlak, a tak sa pracovná látka vo výparníku začne odparovať. Na odparovanie však potrebuje pracovná látka veľa tepla. Toto teplo získava z ochladzovanej látky. Tá je vždy o niečo teplejšia ako vyparujúca sa pracovná látka, a preto jej odovzdáva teplo. Následne pracovná látka putuje do kompresora. Tu sa niekoľkonásobne navýši tlak. V kondenzátore má pracovná látka vyšší tlak, a tým pádom aj teplotu. Ohrievaná látka prechádza kondenzátorom a preberá teplo od pracovnej látky. Tá tu vďaka tomu kondenzuje a kondenzát vchádza do škrtiaceho ventilu.



Obr. 4.3 Tepelný obeh v tepelnom čerpadle. [16]

Vďaka tomuto cyklu je možné predávať teplo z chladnejšej látky. Mechanickú energiu je potrebné dodať do kompresora a do obehových čerpadiel. Prakticky sa využíva niekoľko typov tepelných čerpadiel. Vzduch – voda získava teplo z vonkajšieho vzduchu a predáva ho do vykurovacej vody. Výhodou tohto čerpadla je jeho jednoduchosť. Hlavná nevýhoda je, že keď je najviac potrebné (v zime), je vonkajšia teplota najnižšia. Tým pádom je potrebné vyvinúť vyšší teplotný rozdiel – tepelné čerpadlo má menšiu účinnosť. Ďalej sa používa TČ zem – voda. Tento typ TČ je menej náchylný na nízke teploty v zime, pretože kolektory sa zakopávajú do zeme. Pomocou týchto kolektorov sa získava teplo z okolitej zeminy. Na teplej strane TČ opäť ohrieva vykurovaciu vodu. Nevýhodou daného TČ sú jeho vysoké investičné náklady. Ďalej sa používa ešte TČ voda – voda. Tu TČ získava teplo z vody v blízkosti vykurovaného objektu (jazero, rieka). Teplota okolitej vody je teplotne najstabilnejšia. Je však potrebné mať pri objekte nejakú vodnú plochu. Stojatá voda ako jazero, môže aj čiastočne premrzáť, keď je odoberané veľké množstvo tepla (v zime). Teplá strana TČ opäť ohrieva vykurovaciu vodu.

Tepelné čerpadlo sa využíva kvôli tomu, že množstvo dodanej mechanickej energie je niekoľkonásobne menšie ako predané teplo na teplej časti. Spomínaný násobok určuje vykurovací faktor COP. Vypočíta sa podľa normy ČSN EN 14511 [17]:

$$\text{COP} = \frac{\Phi}{P_c + P_{aux}} \quad [-] \quad (4.1)$$

Kde  $\Phi$  je tepelný výkon tepelného čerpadla,  $P_c$  je elektrický príkon kompresora a  $P_{aux}$  je elektrický výkon potrebný na prekonanie tlakovej straty vo výparníku a kondenzátore, odtavovanie výparníka a vlastná regulácia tepelného čerpadla.

Podľa normy ČSN EN 14511 sa hodnota COP vypočítava na základe dlhšieho časového merania, aby sa priblížila reálnemu použitiu. Počas merania je potrebné niekoľko-krát odmrazovať výparník (na výparníku vzniká ľadová vrstva vplyvom zamrznutia vzdušnej vlhkosti). Hodnota COP sa navyše meria pri rôznych teplotách. Norma ich určuje rôzne pre každý typ tepelného čerpadla (voda – voda, zem – voda, vonkajší vzduch – voda). Napr. hodnota COP pri tepelnom čerpadle vonkajší vzduch – voda sa meria pri teplotách vonkajšieho vzduchu -15 °C, -7 °C, 2 °C, 7 °C, 12 °C, a pri vykurovaní teplej časti na 35 °C, 45 °C, 55 °C, a 65 °C. Merajú sa všetky kombinácie. Podmienky merania COP sa zapisujú zjednodušene. Napr. zápis A7/W45 znamená meranie tepelného čerpadla vonkajší vzduch – voda pri vonkajšej teplote 7 °C a teplote ohrievanej vody 45 °C.

Tepelný faktor COP je však z užívateľského hľadiska nepraktický, preto sa zaviedol sezónny tepelný faktor SCOP. Výpočet SCOP vychádza z celoročnej bilancie produkcie tepla produkovaným daným TČ. Pre výpočet SCOP sa pre zjednodušenie predpokladajú tri klimatické pásma (Atény, Štrasburg a Helsinky). Pre České teplotné pásmo sa využíva výpočet pre Štrasburg a Helsinky. Hodnota SCOP sa lineárne interpoluje. Pre Štrasburg je vonkajšia návrhová teplota -10 °C a trvanie vykurovacej sezóny 4910 hodín, a pre Helsinky je vonkajšia návrhová teplota -22 °C a trvanie vykurovacej sezóny 6446 hodín.

Dôležitou súčasťou tepelných čerpadiel je pracovná látka v obehu – chladivo. Chladivá musia spĺňať viacero podmienok pre bezproblémovú prevádzku TČ. V prvom rade musí mať chladivo nízky bod varu, malú stlačiteľnosť a dobré termodynamické vlastnosti. Zároveň však musia byť chladivá šetrné k obehovému systému TČ a v poslednom rade musia byť šetrné aj voči životnému prostrediu. V minulosti sa používali freóny. Boli to veľmi stabilné látky a pri atmosférickom tlaku mali nízku hustotu. Dôsledkom toho pri úniku stúpali až k ozónovej vrstve, kde chemicky reagovali s ozónom. V dôsledku toho sa merateľne znižovala koncentrácia ozónu v stratosfére (nadmorská výška 25 – 35 km). Dnes je celosvetovo zakázaná výroba TČ alebo chladničiek s freónmi (už 20 rokov). Najčastejšie sa používajú zeotropické chladivá. Sú to chladivá, ktoré sú zmesou viacerých látok, čo umožňuje väčší teplotný rozsah teplôt vyparovania a kondenzácie. Medzi používané chladivá patrí aj oxid uhličitý alebo uhľovodíky (propán).

### 4.3 Kogeneračná jednotka

Kogeneračná jednotka využíva palivo na výrobu dvoch rôznych produktov. Najčastejšie ide o kogeneráciu elektrickej energie a tepla. Kogenerácia má zmysel, ak sa oba typy produktov spotrebúvajú. V tomto prípade je schopná KJ šetriť životné prostredie,



pretože sa celkovo spotrebuje menej paliva a vyprodukuje menej spalín. Veľké elektrárne sa stavajú mimo miest, a tak odpadné teplo ďalej nevyužívajú, ale musia sa ho zbavovať (vzduchové chladiče, chladiace veže). V mestách je naopak v zime potrebného tepla veľa a je tu aj dopyt po elektrickej energii. Práve tu sa naskytuje možnosť kogenerácie elektriny a tepla.

Dôležitými parametrami pri kogenerácii sú teplárenský modul „e“ a celková tepelná účinnosť  $\eta_{tc}$ . Teplárenský modul sa vyjadruje rovnicou:

$$e = \frac{E}{Q} \quad [-] \quad (4.2)$$

Kde E je množstvo vyrobenej elektrickej energie a Q je množstvo vyrobeného tepla v KJ. Celková tepelná účinnosť  $\eta_{tc}$  vyjadruje vzťah:

$$\eta_{tc} = \frac{E+Q}{Q_{pal}} \quad [-] \quad (4.3)$$

Kde  $Q_{pal}$  je výhrevnosť paliva.

Ďalším parametrom, ktorý sa posudzuje pri KJ je teplota ohrievanej látky. Podľa nej je možné rozdeliť vyrobené teplo na vysokopotenciálne a nízkopotenciálne. Vysokopotenciálne teplo je možné ďalej využiť pre priemyselné účely. Nízkopotenciálne teplo sa používa pre ohrev vody na vykurovanie.

Kogeneračné jednotky sa delia na viacero typov:

- KJ s parnými turbínami
- KJ so spaľovacími turbínami
- paroplynové zariadenia
- KJ so spaľovacími motormi
- Stirlingov motor
- palivové články.

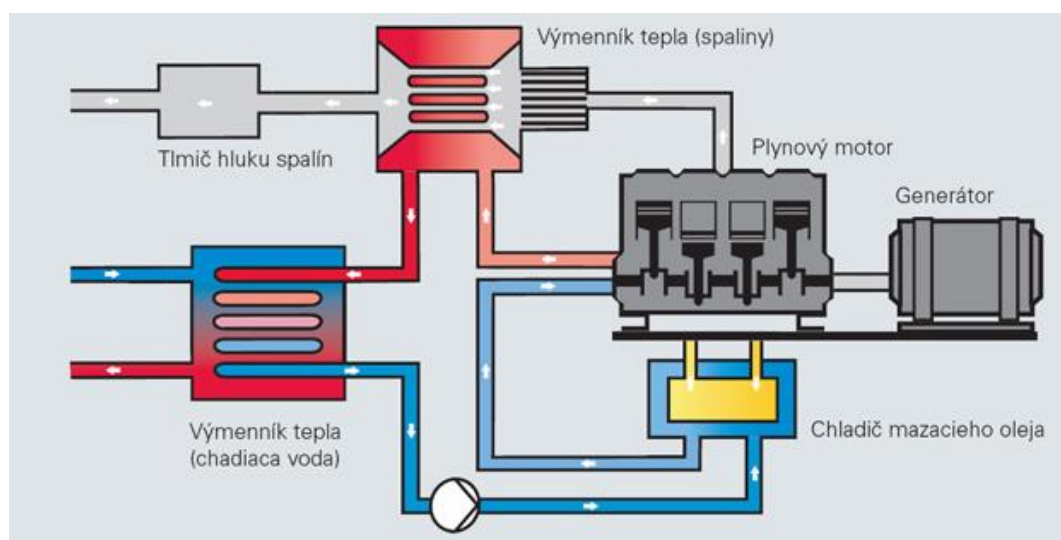
Parné turbíny sa ku kombinovanej výrobe tepla a elektriny v teplárenstve používajú už dlho. Dosahuje sa tu celková účinnosť až 85 %. Tieto parné turbíny sa podľa spôsobu odberu pary delia na protitlakové a kondenzačné parné turbíny. V protitlakových turbínach všetka vyrobená para expanduje na vyšší tlak. Táto para má ešte vysokú teplotu a je ju možné ďalej využiť. Pri tomto type turbíny nie je možné vyrábať elektrickú energiu bez výroby tepla. V kondenzačnej turbíne expanduje para až na najmenší možný tlak (tlak nasýtených pár závisí od teploty chladiaceho média). Túto paru už nie je možné energeticky využiť, preto musí byť na turbíne odber pary o vyššom tlaku. Pri tomto type turbíny je možné vyrábať elektrickú energiu aj pri nulovom odbere tepla.

Parné turbíny sú výhodné pre kogeneračnú výrobu tepla a elektriny z viacerých hľadísk. Je tu možné použiť širokú škálu palív (je potreba len ohriať paru na dostatočnú teplotu). Ďalej majú turbíny vysokú životnosť a aj celkovú účinnosť. Naopak nevýhodami sa dajú označiť vysoké investičné náklady ako aj zložitosť celého zariadenia. Parné turbíny ponúkajú len nízky pomer elektrického a tepelného výkonu a nedajú sa rýchlo spúšťať.

Spaľovacie turbíny majú ako pracovnú látku vzduch so spalínami. Turbína je pripojená na kompresor, ktorý stlačuje nasávaný vzduch. Stlačený vzduch sa v spaľovacej komore zmieša s palivom a prebehne spaľovanie. Zmes spalín a vzduchu následne poháňa turbínu a po expanzii prejdú výmenníkom tepla, kde sa odpadné teplo ešte využije na ohriatie média. Spaľovacie turbíny majú vysokú spoľahlivosť a zároveň nie je problém rýchlej zmeny výkonu. Ďalšou výhodou spaľovacích turbín je, že teplo zo spalín má ešte vysoké teploty. Sú tu relatívne nízke investičné náklady (platí pre vyššie výkony). Nevýhodou spaľovacích turbín je potreba čistého a kvalitného paliva.

Kombináciou predchádzajúcich zariadení je možné palivo využívať účinnejšie. Paroplynový kogeneračný okruh využíva teplo zo spalín na výrobu pary. Táto para sa ešte využije v parnej turbíne. Paroplynové teplárne sú schopné rýchlo reagovať na potrebu elektrickej energie. Z prechádzajúceho vyplýva veľká výhoda vo veľkej prevádzkovej pružnosti a vysoký teplárenský modul. Nevýhodou je naopak veľká komplikovanosť celého systému.

Ďalej je možné ku kogenerácii využitie objemových strojov. Spaľovacie motory sú zvyčajne poháňané zemným plynom (metán). Mechanická energia sa prenáša na generátor pre výrobu elektrickej energie. Odpadné teplo je možné ďalej využívať. KJ so spaľovacím motorom sa zvyčajne používajú pri nižších výkonov ako turbíny. Tieto typy KJ sa inštalujú zvyčajne priamo u spotreby tepla. Spaľovacie motory si držia vysokú účinnosť aj pri malých jednotkách. Ďalšou výhodou je ich kompaktnosť. Dodávajú sa vcelku. Ako u každého spaľovacieho motora je tu možnosť rýchleho štartu a odstavenia. Rovnako to nesie aj nevýhodu hluku a požiadavku na kvalitné a čisté palivo.



Obr. 4.4 Tepelný obeh v KJ so spaľovacím motorom. [18]

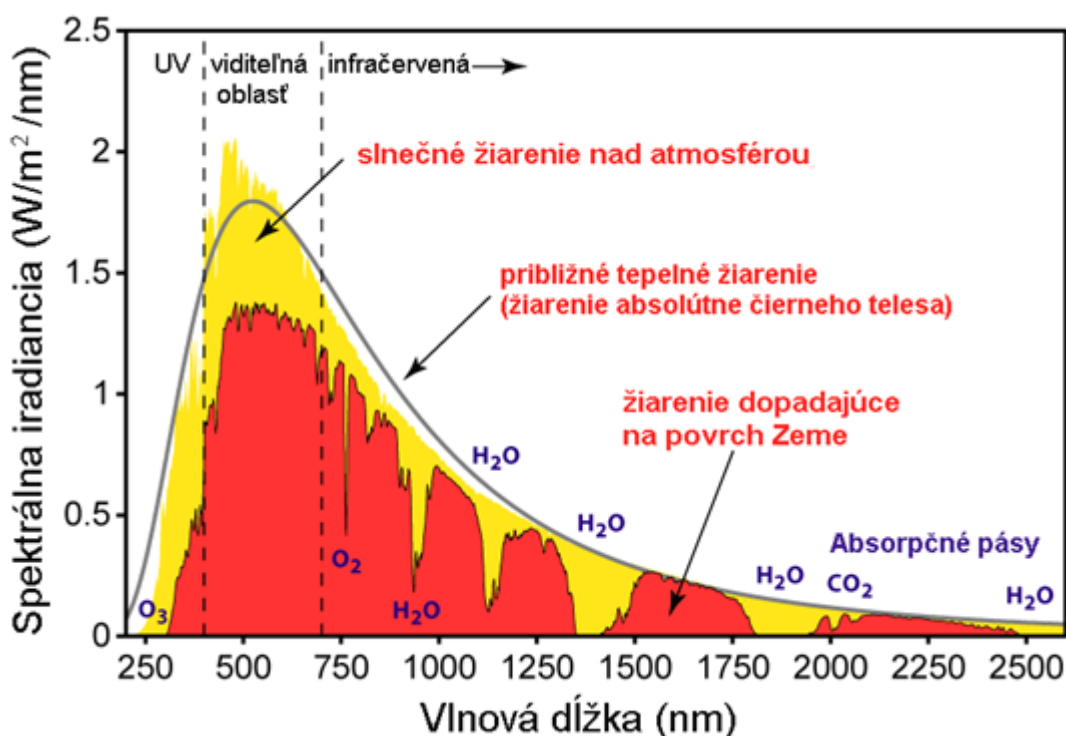
Stirlingov motor je taktiež spaľovací motor, ale s vonkajším spaľovaním. Stirlingov motor má 2 prepojené zdvihové priestory s rozdielnou teplotou. Pracovnou látkou býva inertný plyn (je uzavretý), ktorý sa premiestňuje medzi valcami motora. Teplo, ktoré sa nepremení na mechanickú energiu, odchádza studenou časťou okruhu. Opäť sú to malé výkonové jednotky. Nevýhodou je malý teplárenský modul a vyššia cena. Na rozdiel od spaľovacieho motora nie je Stirlingov motor hlučný. Veľkou výhodou je aj veľká výkonová flexibilita. Stirlingov motor však zatiaľ nie je veľmi rozšírený. Príčinou sú hlavne jeho cena

a konštrukčné problémy (tlak pracovnej látky v motore až 15 MPa a 3000 otáčok za minútu).

Palivové články na rozdiel od predchádzajúcich možností nemajú žiadne rotujúce súčiastky. Premieňajú priamo energiu vo väzbách pomocou chemických reakcií na elektrickú energiu. Pri tom vzniká odpadné teplo, ktoré je možné ďalej využiť. Momentálne sa využívajú hlavne palivové články na vodík (zo zemného plynu) a kyslík (zo vzduchu). Reakciou vzniká voda. Palivové články sú tiché, spoľahlivé a majú vysokú účinnosť. Dnes však nie sú rozšírené hlavne kvôli ich finančnej náročnosti z investičného hľadiska, ale aj z prevádzkového (drahé palivo).

#### 4.4 Solárne kolektory

Slnčné kolektory využívajú energiu zo slnečného žiarenia. Táto energia má svoj pôvod vo fúzych reakciách v centre Slnka. Z povrchu Slnka sa presúva táto energia pomocou elektromagnetického žiarenia na Zem. Toto žiarenie má široké spektrum vlnovej dĺžky. Spektrum vychádza z teploty povrchu Slnka 5 778 K. Je skoro totožné s absolútne čiernym telesom o tejto teplote. Dané spektrum sa výraznejšie mení až prechodom atmosféry Zeme, kde jednotlivé látky v ovzduší pohlcujú časti spektra. Je to znázornené na obrázku 4.5.



Obr. 4.5 Slnčné spektrum po prechode atmosférou Zeme. [19]

Vo vrchnej časti atmosféry dopadá na Zem ešte  $1,36 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ . Daný výkon závisí od vzdialenosti a teplotách povrchu Zeme a povrchu Slnka podľa Stefan-Boltzmannovho vzťahu. Prechodom cez atmosféru je časť tohto žiarenia pohltená alebo odrazená a na povrch Zeme dopadá približne  $1 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ . Obidve hodnoty sa vzťahujú na plochu kolmú na

smer slnečných lúčov. Pravdaže predpokladá sa bezoblačné počasie. Pre lepšiu orientáciu sa často používa údaj o dopadnutom množstve energie na vodorovnú plochu za rok. Výsledky sa zakresľujú do mapy ako je vidieť na obrázku 4.6.



Obr. 4.6 Množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia za rok v kWh.m<sup>-2</sup>. [20]

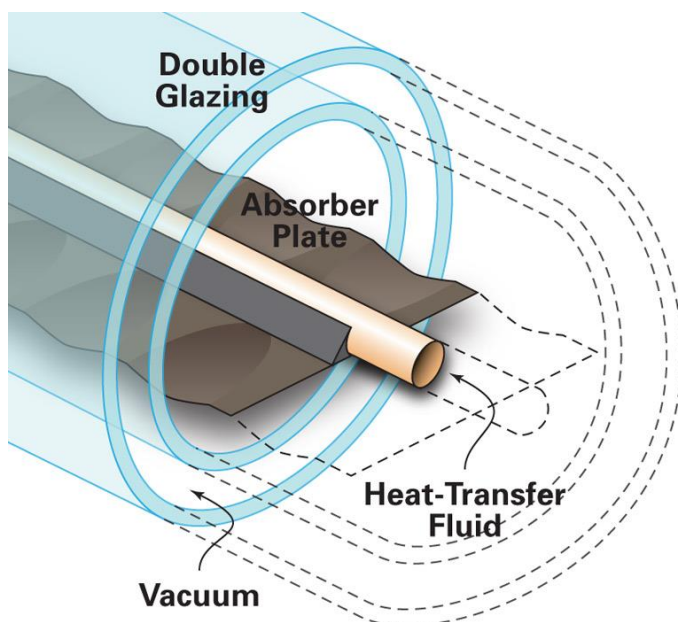
Energiu slnečného žiarenia je možné využiť viacerými spôsobmi. Je ich možné rozdeliť na pasívne systémy a aktívne systémy. Pod pasívnym systémom sa myslí architektonicky tak navrhnutá budova, aby sama o sebe využívala čím viac tepla zo slnečného žiarenia. Rieši sa to presklenými fasádami. Tu sa, ako v skleníku, jednotlivé povrchy nahrievajú, a následne vyžarujú elektromagnetické žiarenie o väčšej vlnovej dĺžke, ktoré už sklo neprepúšťa naspäť. Takáto presklená stena sa nachádza na budove Moravskej Zemskej Knihovni v Brne. Medzi dvoma presklenými stenami sa tam nachádzajú vonkajšie žalúzie. Vonkajšia presklená stena sa navyše otvára. Týmto dvoma konštrukciami sa rieši prehrievanie v lete. Vonkajšie žalúzie čiastočne odrážajú slnečné žiarenie a čiastočne ho pohlcujú. Teplý vzduch sa ventiluje pomocou vonkajších otváracích skiel.

Slnečné žiarenie je možné ďalej využiť aktívne. Využívajú sa fototermické kolektory a fotovoltaické panely. Fototermické kolektory sa zakladajú na princípe zachytenia maximálneho množstva slnečného žiarenia a jeho minimálnemu odrazu. Tento spôsob priamo ohrieva vodu. Fotovoltaické panely premieňajú slnečné žiarenie priamo na elektrický výkon. Tieto fotovoltaické panely majú relatívne malú účinnosť (20 – 25 %), ale elektrickou energiou je možné poháňať tepelné čerpadlo (COP=2 – 5 [-]). Týmto spôsobom sú ako zdroj tepla už fotovoltaické panely zaujímavé. Avšak kvôli vysokým investičným nákladom sa momentálne toto riešenie nepoužíva.

Fototermickým kolektorom sa bežne hovorí solárne kolektory. Tie sa najčastejšie využívajú k ohrevu vody, ale ohrievať sa nimi môže aj vzduch alebo iné látky. Slnečnými lúčmi je možné ohrievať látky aj na vysoké teploty. V takomto prípade je možné pomocou Rankin-Clausiovho cyklu vyrábať elektrickú energiu. Avšak kvôli nestálosti slnečného svitu sa najviac využíva ohrev teplonosnej vody na nižšie teploty (okolo 100 °C). Toto ohriate médium sa využíva na vykurovanie alebo ohrev TUV. Z hľadiska spomínanej

nestálosti slnečného svitu sa používa prakticky vždy ku kolektorom či už menší alebo väčší, zásobník tepla. Bežne býva zásobník tepla tak veľký, aby postačoval na kompenzáciu denných výkyvov, či už výroby tepla alebo jej spotreby. Táto regulácia však nestačí na kompenzáciu sezónnych zmien. V lete býva slnečných lúčov dostatok, ale v zime sú kratšie dni a je často aj zamračené. Preto ak nemá byť vykurovanie pomocou slnečných kolektorov iba doplnkové, je potreba akumulovať teplo sezónne. Tieto zásobníky majú však o dva rády vyššie objemy. To so sebou nesie nie len vyššie investičné náklady, ale aj priestorové obmedzenia. Preto sa využívajú solárne kolektory iba ako doplnkový zdroj tepla.

Pre získavanie tepla zo slnečného žiarenia existuje viacero možností. Základne sa rozdeľujú na ploché a trubicové kolektory. Základom plochého kolektoru je nosný rám. Do zadnej časti sa používa tepelná izolácia. Predná časť kolektora je zo skla alebo z plastového priesvitného materiálu. Má za úlohu prepustiť čím viac slnečného žiarenia dovnútra. Zároveň vnútro kolektoru mechanicky chráni, a zároveň aj bráni konvekcii tepla z kolektora von. Samotné jadro plochého kolektoru môže mať viacero rôznych prevedení. Najčastejšie sa skladá z plechu, ku ktorému sú prispájkované trúbky cez ktoré preteká ohrievaná látka. Trúbky sa môžu nachádzať aj v hyperbolických valcových plochách, ktoré majú za úlohu naopak odrážať, a tým sústreďovať slnečné lúče do spomínaných trúbok. Či už v prvom prípade celý plech alebo v druhom prípade trúbky musia byť povrchovo upravené tak, aby mali maximálne absorbujúce vlastnosti a minimálnu emisivitu. Trubicové kolektory sa skladajú z nosného rámu a trubic. Sú to sklenené trubice, z ktorých je vysatý vzduch (nedochádza ku konvekcii ani kondukcii). Vo vnútri sa nachádza opäť plech s povrchovou úpravou pre absorpciu slnečného žiarenia. K tomuto plechu je opäť prispájkovaná trúbka s ohrievaným médiom. Jednotlivé varianty sa odlišujú od seba tvarom plechu (rovný ako na obrázku 4.7, ohnutý a pod.) alebo počtom prispájkovaných trúbok.



Obr. 4.7 Konštrukcia vákuového trubicového slnečného kolektora. [21]

## 4.5 Ďalšie možnosti vykurovania

Okrem spomínaných možností sú tu aj iné alternatívy. Sú menej používané, ale v niektorých prípadoch môžu byť zaujímavé.

Kotly na pevné palivá prevládali v minulosti. Bolo to z dôvodu lacného paliva. Boli to hlavne kotly na spaľovanie kusového dreva, neskôr uhlia. Dnes sa ešte používajú buď staré kotly, alebo sa rozširujú kotly na spaľovanie drevnej štiepky, peliet a drevných brikiet. Takéto riešenie je však pre bytový dom nevýhodné. Je potrebné mať predpripravené palivo na niekoľko mesiacov dopredu, čo je priestorovo a logisticky náročné. Ďalej je potrebná obsluha na prikladanie paliva do kotla.

Ďalšou možnosťou je vykurovanie pomocou elektrokotla. Je to veľmi jednoduché a lacné riešenie, čo sa týka investičných nákladov (ak je BD napojený na vedenie o dostatočnom výkone). Prevádzkové náklady túto výhodu však rýchlo dobehnú. Vyplýva to z toho, že na výrobu 1 GJ elektrickej energie sa spotrebuje priemerne 2,5 krát viac tepelnej energie. Z toho dôvodu táto možnosť väčšinou z ekonomického hľadiska nebýva výhodná.

## 5. Výpočty vybraných variantov

V predchádzajúcej kapitole práca približuje možnosti vykurovania. Táto kapitola sa venuje výpočtu konkrétnych variantov, ktoré prichádzajú do úvahy.

Variant vykurovania pomocou kotla na pevné palivo sa tu nebude uvažovať z viacerých dôvodov. Palivo ako drevo alebo uhlie je síce výrazne lacnejšie ako cena plynu za GJ, ale prináša so sebou mnoho problémov. Pevným palivom je potrebné sa zásobiť dopredu a je ho potrebné skladovať. Vznikali by tu hlavne problémy s uskladnením. Bytový dom nemá k dispozícii dostatok priestoru pre uskladnenie paliva. Vedľajší pozemok (550 m<sup>2</sup>) je využívaný ako ihrisko pre deti, a preto ho nie je možné celý využiť. Zjednodušeným výpočtom pre množstvo paliva (výhrevnosť dreva 15 MJ/kg, spotreba tepla 2700 GJ/rok, účinnosť kotla 75 %) je potrebné uskladniť 240 ton paliva za rok. Ďalšími problémami kotla na tuhé palivo je potreba manuálneho dopĺňania paliva a potrebné časté čistenie.

Vykurovanie pomocou kvapalných palív so sebou nesie podobné problémy ako tuhé palivá. Bolo by potrebné postaviť pre kvapalné palivo dostatočne veľkú nádrž. Navyše je niekoľkonásobne drahšie ako pevné palivá. Výhodou kvapalného paliva by bolo len vynechanie manuálneho nakladania paliva.

Možnosť vykurovania pomocou elektrickej energie je ako bolo spomínané v predchádzajúcej kapitole prevádzkovo veľmi jednoduché. Avšak z ekonomického hľadiska nevýhodné kvôli cene elektrickej energie. Navyše elektrický transformátor nebol projektovaný na také vysoké odbery.

Možnosť vykurovania pomocou slnečných kolektorov sa môže zdať veľmi výhodná z hľadiska paliva, ktoré nie je vôbec potrebné. Slnečné kolektory však majú viacero zásadných nedostatkov. Vo vykurovacej sezóne, kedy je najviac potrebné teplo, tak je najmenej slnečného svitu (čiastočne kvôli krátkym dňom, ale aj kvôli väčšej oblačnosti). Nie je však rozumná ani inštalácia veľkej plochy slnečných kolektorov. V tomto prípade by boli naopak v letných mesiacoch tepelné zisky príliš veľké a tepla by sa bolo potrebné zbavovať, k čomu by bolo tiež potrebné vynaložiť energiu. Najrozumnejšia možnosť sa naskytuje naprojektovanie slnečných kolektorov v lete na pokrytie TUV a v zime využiť teplo z kolektorov iba ako doplnkový zdroj. V tomto prípade by boli investičné náklady výrazne vyššie ako v iných možnostiach, a zároveň by bolo potrebné palivo pre ďalší zdroj tepla. Teoreticky sa naskytuje aj možnosť sezónnej akumulácie tepla. Táto možnosť by však bola taktiež investične veľmi nákladná, a zasa by sa vyskytol problém s priestorom. Rýchlym výpočtom pri ohreve vody o 40 °C, predpokladanej účinnosti akumulácie 70 % a potrebnej maximálnej akumulácie 50 % je potrebný tepelný zásobník naplnený vodou o objeme 11 500 m<sup>3</sup>. Najväčším problémom však na tomto konkrétnom bytovom dome je jeho orientácia. Dlhé fasády sú orientované na východ a západ. Využiteľná časť bytového domu z južnej strany má iba necelých 15 m. Ďalšia časť južnej fasády je až na druhom konci bytového domu. Z toho vyplýva, že kolektory by boli v krátkych radoch a ďaleko od seba (aby sa jednotlivé rady nezacláňali). Tým by vznikali vyššie straty v systéme.

Vykurovanie pomocou tepelného čerpadla sa naskytuje ako zaujímavá možnosť. Nie je potrebná dodávka žiadneho paliva navyše. Bolo by však potrebné navýšiť výkonovú rezervu v elektrických ističoch a pravdepodobne aj zosilniť vedenie nízkeho napätia. Do investície by sa počítali iba náklady za ističe. Náklady za zosilnenie vedenia by platil distribútor elektrickej energie. Bolo by však potrebné počítať s dobou 17 mesiacov, ktoré má distribútor na zosilnenie vedenia NN. Ďalším problémom je výkon TČ, ktorý je potrebný v zimných mesiacoch. Po prvé je veľmi vysoký – TČ by sa nezmestilo do technickej miestnosti, resp. by ich bolo potrebné viac. Po druhé tepelný výkon je najviac potrebný v chladných dňoch – TČ vtedy pracuje s najnižším COP, takže by bola potrebná značná „predimenzovanosť“ systému. Najväčším problémom TČ pre tento bytový dom však je, že jeho vykurovací systém je navrhnutý pre tepelný spád 75 °C/60 °C. TUV sa ohrieva vodou z tejto sústavy. Tepelné čerpadlá, ktoré sú na trhu, ohrievajú vodu maximálne na 60 °C, čo je vratná voda vo vykurovacej sústave.

Po konzultácii s investorom, majú pre neho zmysel len nasledujúce dve možnosti: plynová kotolňa a kogeneračná jednotka.

## 5.1 Plynová kotolňa

Pre plynovú kotolňu je v bytovom dome dostatok miesta. Ako kotolňu je možné využiť terajšiu miestnosť výmenníkovej stanice (obr. 2.2). Má rozmery 3,88 × 4,47 m. Plynová kotolňa v tomto bytovom dome však so sebou nesie aj problémy. V objekte nie je zavedená plynová prípojka. To navýši investičné náklady. Najbližšia plynová prípojka sa nachádza „cez ulicu“ na druhej strane budovy. Bude ju potrebné prekopať pre plynové potrubie. Vedenie plynového potrubia bude ďalej jednoduchšie a v bytovom dome je ho možné viesť v prvom podzemnom poschodí cez garáže až do terajšej výmenníkovej stanice. Na druhej strane bude potrebný odvod spalín komínom. Ako je vidno na obrázku 5.1, nie je úplne jasné kadiaľ viesť komín. Ako najjednoduchšie riešenie sa naskytuje jeho vyvedenie von z výmenníkovej stanice po strome, a následné vyvedenie po fasáde medzi oknami napravo na obrázku 5.1.

Pre kalkuláciu plynovej kotolne je nutné počítať s nákladmi na kaskádu kotlov a ďalší montážny materiál, komín, plynovú prípojku, akumuláciu nádrž a pravdaže montáž a doprava tohto všetkého. Cena pre kaskádu kotlov, komín a celkovú montáž tohto systému je k dispozícii z cenovej ponuky od firmy Plynotherm, spol. s r.o.. Cenová ponuka obsahuje kaskádu troch kotlov Vaillant VU 1206/5-5ecoTECplus. Regulovateľný výkon každého kotla pri spáde teploty vody 80/60 °C je 22,4 kW až 112 kW. Tento regulovateľný rozsah je dostatočný, pretože sa predpokladá ešte akumulácia nádrž pre reguláciu TUV. Tento kotol má pri danom tepelnom spáde menovitú účinnosť 98 %, a pri 30 % zaťažení 97,3 %. Ďalej cenová ponuka obsahuje trúbky pre odvod spalín. Prívod vzduchu sa predpokladá z kotolne. Následne je v cene započítaná aj montáž, doprava a skúšky. S cenou akumulácie nádrže sa počíta od firmy Hurt. Cena za plynovú prípojku je od plynárov, pričom tieto ceny započítavajú potrebné náklady na montáž.





Obr. 5.1 Vchod do výmenníkovej stanice a fasáda nad ním.

Objem akumulačnej nádrže bol spočítaný na základe nasledujúcej úvahy. Výpočet vychádza z údajov bytového domu so 72 bytmi v Bratislave [10] (graf 3.1). Práca predpokladá podobné zmeny spotreby v priebehu dňa aj v Majdalenkach. Najprv bola spočítaná priemerná hodinová spotreba teplej vody ako aritmetický priemer. Z vypočítanej hodnoty  $V_{h,p} = 0,328 \text{ m}^3$  vyplýva, že od 1 hodiny do 10 hodiny ráno je spotreba nižšia ako priemer. V ďalšej časti dňa sa už nevyskytuje taký veľký prepád. Akumulačná nádrž musí pokrývať práve takto veľký výkyv. Úpravami a vyjadrením objemu dostaneme z kalorimetrickej rovnice:

$$V_N = \frac{Q_{TUV,s}}{Q_{TUV}} * (V_{h,p} * 9 - \sum_{i=1}^9 V_{p,i}) * \frac{t_{TUV} - t_{s,v}}{t_{N,max} - t_{N,min}} [\text{m}^3] \quad (5.1)$$

V rovnici 5.1 je  $V_{p,i}$  priemerná spotreba TUV v  $i$ -tej hodine, a teploty v menovateli sú maximálna a minimálna teplota v akumulačnej nádrži. Ich hodnoty sa predpokladajú  $95^\circ\text{C}$  a  $75^\circ\text{C}$ . Podiel  $Q_{TUV,s}$  a  $Q_{TUV}$  vyjadruje rozdiel medzi spotrebami posudzovaného bytového domu Majdalenky a bytového domu v Bratislave. Po dosadení všetkých hodnôt sa rovná  $V_N = 4,3 \text{ m}^3$ . Táto spočítaná hodnota je však iba orientačná. Údaje, z ktorých výpočet (5.1) vychádza, sú hodinové priemery. Na druhej strane vykurovanie akýmkoľvek spôsobom, ktoré sa bude ďalej riešiť má vždy reguláciu, a nemusí ísť konštantne celý deň. Pre získanie ceny akumulačnej nádrže bol zvolený objem  $4 \text{ m}^3$ . V tomto objeme sa akumulačné nádrže

bežne vyrábajú. Bolo by možné si dať vyrobiť akumuláciu nádrž na mieru, ale jej cena by však bola výrazne vyššia.

Náklady na investíciu sú spočítané podľa jednotlivých cenových ponúk v nasledujúcej tabuľke 5.1.1:

Tabuľka 5.1.1 Ceny z cenových ponúk potrebné pre výpočet investície.

POLOŽKA	CENA BEZ DPH (Kč)	CENA S DPH (Kč)
3 KS VAILLANT VU 1206/5-SECOTECPLUS	413 400,-	500 214,-
1 KS MONTÁŽNA SADA PRE 3 KOTLY V RADE	127 200,-	153 912,-
1 KS REGULÁCIA CALORMATIC 630	12 200,-	14 762,-
2 KS KASKÁDOVÝ MODUL VR 32	4 220,-	5 106,-
3 KS EXPANZOMAT 8 LITROV	2 958,-	3 579,-
3 KS ELEKTRICKÁ SPETNÁ KLAPKA 110MM	30 900,-	37 389,-
1 KS ZÁKLADNÁ SADA PRE 2 KOTLY V RADE Ø 200MM	12 600,-	15 246,-
1 KS ROZŠIŘUJÚCA SADA PRE 1 KOTOL V RADE Ø 200MM	3 600,-	4 356,-
1 KS SADA PRE NAPOJENIE DO KOMÍNA Ø 200MM	13 700,-	16 577,-
1 KS DRŽIAK ODSUPU (10KS) 200MM	5 190,-	6 280,-
1 KS REVIZNÝ TKUS Ø 200MM	4 870,-	5 893,-
1 KS KOLENO 87° Ø 200MM	4 020,-	4 864,-
2 KS KOLENO 30° Ø 200MM	8 040,-	9 728,-
2 KS TRÚBKA 0,5M Ø 200MM	3 800,-	4 598,-
2 KS TRÚBKA 1M Ø 200MM	4 860,-	5 881,-
11 KS TRÚBKA 2M Ø 200MM	45 430,-	54 970,-
IZOLÁCIE KU KOTLU	4 000,-	4 840,-
REŽIJNÝ A SPOTREBNÝ MATERIÁL	6 000,-	7 260,-
MONTÁŽ REGULÁCIE	7 000,-	8 470,-
SKÚŠKY A REVÍZIE	14 000,-	16 940,-
MONTÁŽ	65 000,-	78 650,-
UVEDENIE DO PREVÁDZKY A ZAŠKOLENIE OBSLUHY	7 000,-	8 470,-
DOPRAVA	4 200,-	5 082,-
AKUMULAČNÁ NÁDRŽ LEŽATÁ 4000L	57 600,-	69 969,-
IZOLÁCIA	17 780,-	21 514,-
DOPRAVA A MONTÁŽ NÁDRŽE	12 000,-	14 520,-
PLYNOVÁ PRÍPOJKA	80 000,-	96 800,-
VYPRACOVANIE PROJEKTU	50 000,-	60 500,-
<b>CELKOM (N<sub>i</sub>)</b>	<b>1 021 568,-</b>	<b>1 236 097,-</b>

Následne je potrebné počítať aj s prevádzkovými nákladmi  $N_p$ . Skladajú sa z nákladov na palivo a mzdových nákladov potrebných kvôli údržbe a prevádzke. Náklady na odpisy jednotlivých zariadení nie sú započítané, pretože výrobca udáva dlhšiu životnosť výrobkov ako 12 rokov. Menšie opravy sú zahrnuté v mzdových nákladoch. Cena nákladov na palivo za rok ( $N_{pal}$ ) je spočítaná podľa nasledujúceho vzorca:

$$N_{pal} = \frac{Q_{V,s} \cdot c_{plyn}}{\eta_{kot} \cdot 0,0036} + 12 \cdot c_{pri} = \frac{2\,691 \cdot 1,18608}{0,98 \cdot 0,0036} + 12 \cdot 172,9 = 906\,426 \text{ [Kč]} \quad (5.2)$$

Kde  $c_{\text{plyn}}$  je cena za plyn v Kč/kWh,  $\eta_{\text{kot}}$  je účinnost kotla a  $c_{\text{pri}}$  je cena za prípojku v Kč/mesiac [22]. Mzdové náklady sú odhadnuté na základe konzultácie.

Tabuľka 5.1.2 Ceny potrebné pre výpočet prevádzkových nákladov.

POLOŽKA	CENA BEZ DPH (Kč)	CENA S DPH (Kč)
NÁKLADY NA PALIVO	749 112,-	906 426,-
MZDOVÉ NÁKLADY	60 000,-	72 600,-
CELKOM ( $N_p$ )	809 112,-	979 026,-

Pre ďalší výpočet bude potrebná cena za teplo z Teplární Brno. Vo výpočtoch sa s ňou bude počítať ako s ušetrenými nákladmi – výnosy ( $V$ ). Cena vychádza z doterajších faktúr, pričom sa počíta s priemernou ročnou spotrebou tepla.

$$V = Q_{V,s} * c_{\text{tep}} = 2691 * 668,56 = 1\,798\,426 \text{ [Kč]} \quad (5.3)$$

Kde  $c_{\text{tep}}$  je cena tepla od teplárny za posledný rok.

Z predchádzajúcich údajov je možné spočítať splatnosť  $T_0$ :

$$T_0 = \frac{N_i}{V - N_p} = \frac{1\,236\,097}{1\,798\,426 - 979\,026} = 1,508 \text{ [r.]} \quad (5.4)$$

Doba splatnosti  $T_s$  berie do úvahy aj diskontnú sadzbu. Tá je však posledné roky nízka, a preto má aj malý vplyv na splatnosť.

$$T_s = \ln \frac{1}{1 - T_0 * d} / \ln(1 + d) = \ln \frac{1}{1 - 1,51 * 0,0005} / \ln(1 + 0,0005) = 1,509 \text{ [r.]} \quad (5.5)$$

Kde „d“ je diskontná sadzba ČNB za posledné obdobie [23].

Pre ďalšie hodnotenie investície sa budú predpokladať dva varianty. Po prvé sa bude predpokladať financovanie celej investície z bytového fondu opráv. Bytový dom má k dispozícii dostatok peňazí na investovanie do jednotlivých variantov. Keďže fond má aj iné účely, preto sa bude brať do úvahy aj druhý variant čiastočného financovania úverom.

Pre oba prípady sú investičné náklady  $N_i$  rovnaké. Tok hotovosti Cash-Flow (CF) sa vypočíta z ročných výnosov  $V$  (respektíve úspor), ročných prevádzkových nákladov  $N_p$  a investičných nákladov vynaložených v danom roku  $N_i$ :

$$CF = V - N_p - N_i \text{ [Kč]} \quad (5.6)$$

Ďalej sa spočíta aktuálna hodnota CF v j-tom roku, ktorá berie do úvahy aj diskontnú sadzbu:

$$CF_{r-j} = CF * (1 + d)^{-j} \text{ [Kč]} \quad (5.7)$$

Ďalej sa spočíta kumulovaný diskontovaný Cash-Flow (DCF):

$$DCF_j = CF_{r-j} + DCF_{j-1} \text{ [Kč]} \quad (5.8)$$

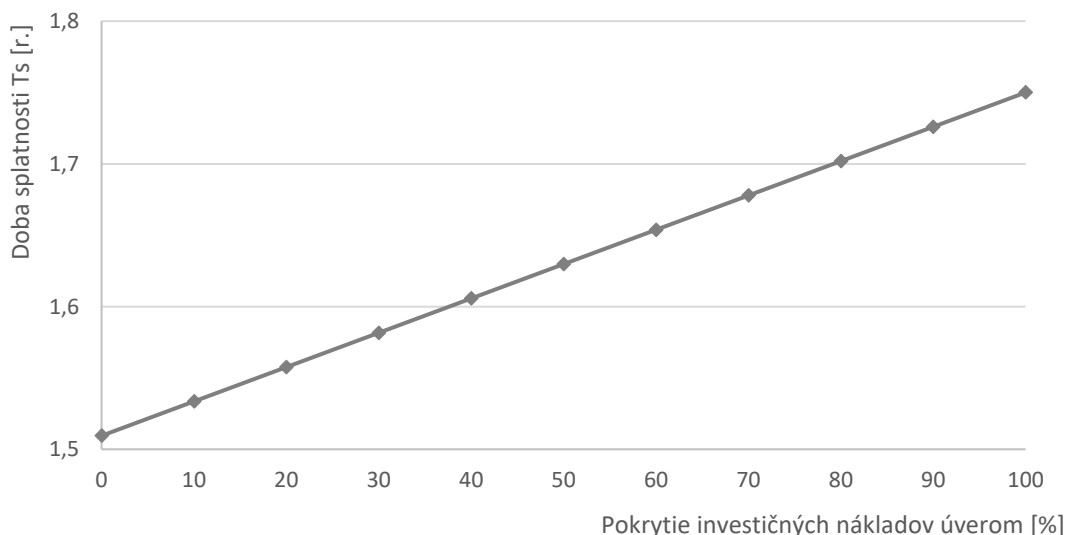
Výsledky sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke 5.1.3:

Tabuľka 5.1.3 Prehľad výsledkov ekonomickej analýzy pre variantu vlastného financovania.

J (ROK)	$N_i$ (Kč)	CF (Kč)	$CF_{R-J}$ (Kč)	DCF (Kč)
0	-1 236 097,-	-1 236 097,-	-1 236 097,-	-1 236 097,-
1		819 400,-	818 991,-	-417 106,-
2		819 400,-	818 582,-	401 475,-
3		819 400,-	818 173,-	1 219 648,-
4		819 400,-	817 764,-	2 037 411,-
5		819 400,-	817 355,-	2 854 766,-
6		819 400,-	816 947,-	3 671 713,-
7		819 400,-	816 538,-	4 488 251,-
8		819 400,-	816 130,-	5 304 381,-
9		819 400,-	815 722,-	6 120 104,-
10		819 400,-	815 315,-	6 935 418,-
11		819 400,-	814 907,-	7 750 325,-
12		819 400,-	814 500,-	8 564 825,-

V druhom prípade sa počíta s prípadom financovania z bankového úveru (či už čiastočne alebo úplne). Pre lepšie porovnanie sa predpokladá splatnosť úverov na 5 rokov. Bankový úver navyšuje náklady na investíciu, ale rozkladá ju do viacerých rokov. Pre lepšie posúdenie výhodnosti úveru je v práci spracovaný graf závislosti podielu úveru na návratnosti investície. Pre tento prípad bol poskytnutý úver s ročnou úrokovou sadzbou **XY** %.

Graf 5.1.1 Závislosť podielu úveru na návratnosti.

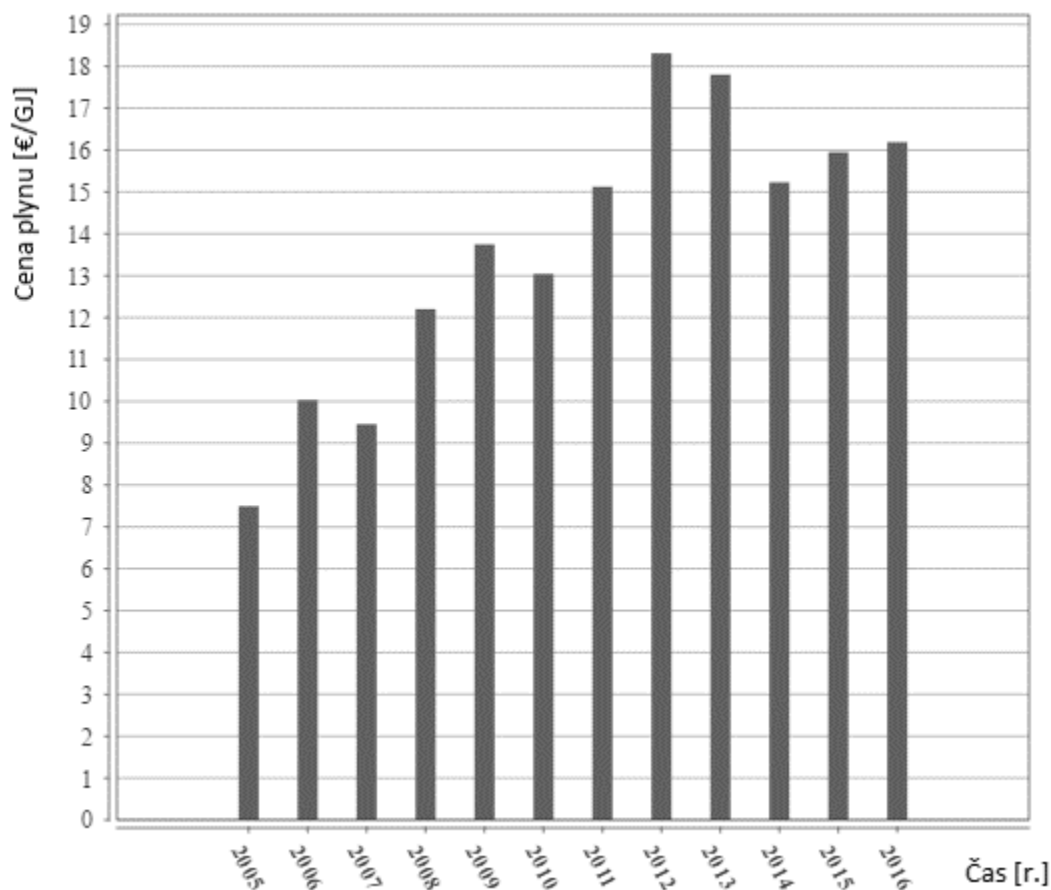


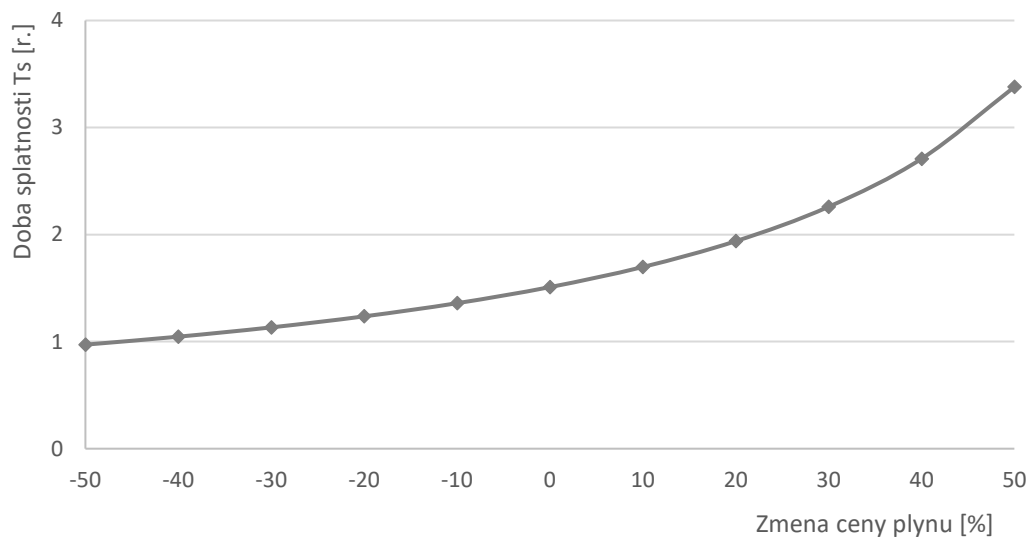
Každá investícia je spojená s istým rizikom, pretože výsledok sa nedá predpovedať s istotou. Preto je potrebné posúdiť mieru rizík všetkých individuálnych nákladov a úspor. Ich zmena totiž môže mať významný vplyv na výhodnosť investície. Citlivostná analýza

hodnotí, aký vplyv budú mať zmeny niektorých parametrov na investíciu. Pre investora je toto zhodnotenie dôležité.

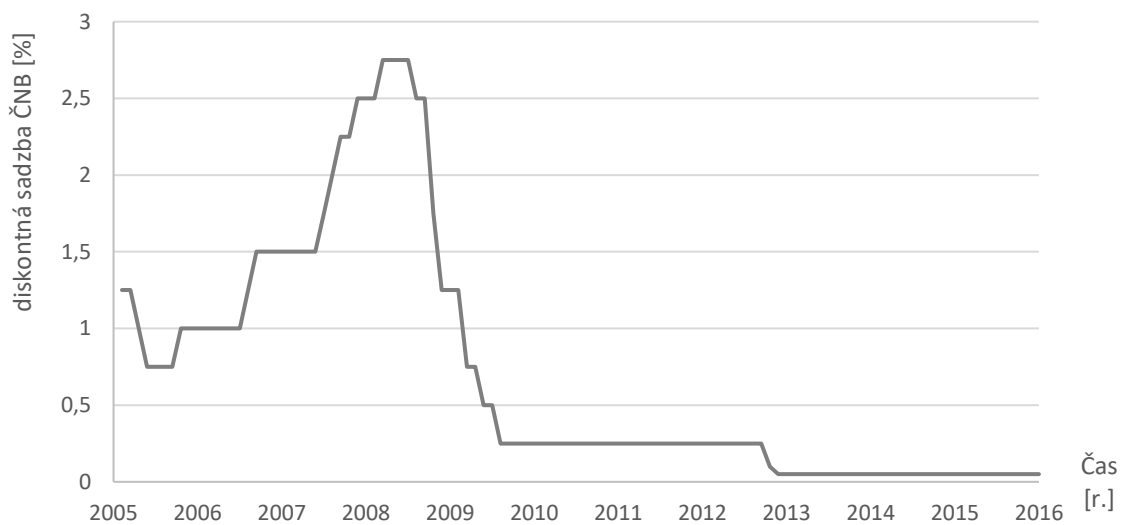
Z grafu 5.1.2 sú viditeľné veľké zmeny v cene plynu pre domácnosti. Preto práca spracováva v prvom rade citlivostnú analýzu pre cenu paliva – plynu.

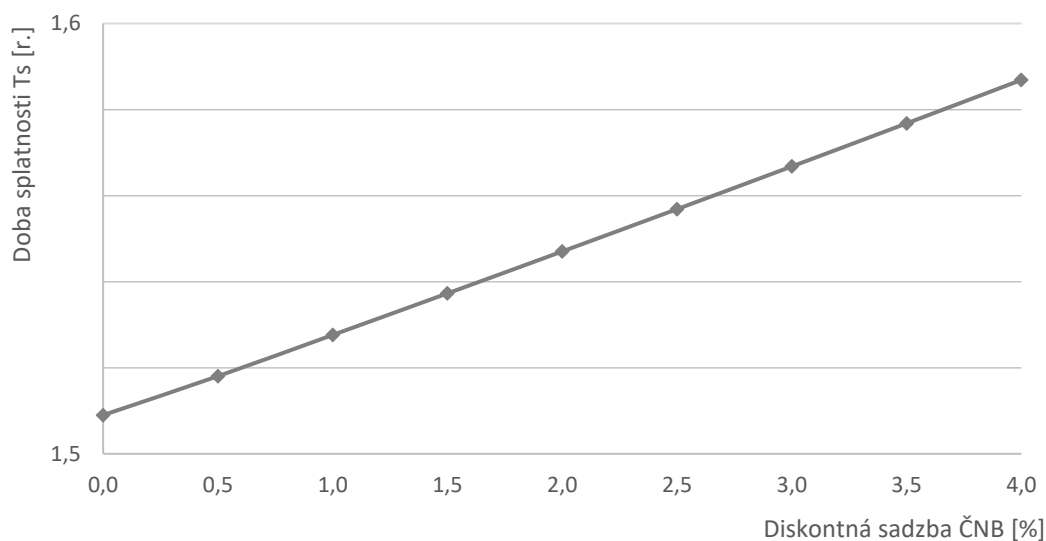
Graf 5.1.2 Cena plynu v Česku pre domácnosti v rokoch 2005 - 2016. [24]



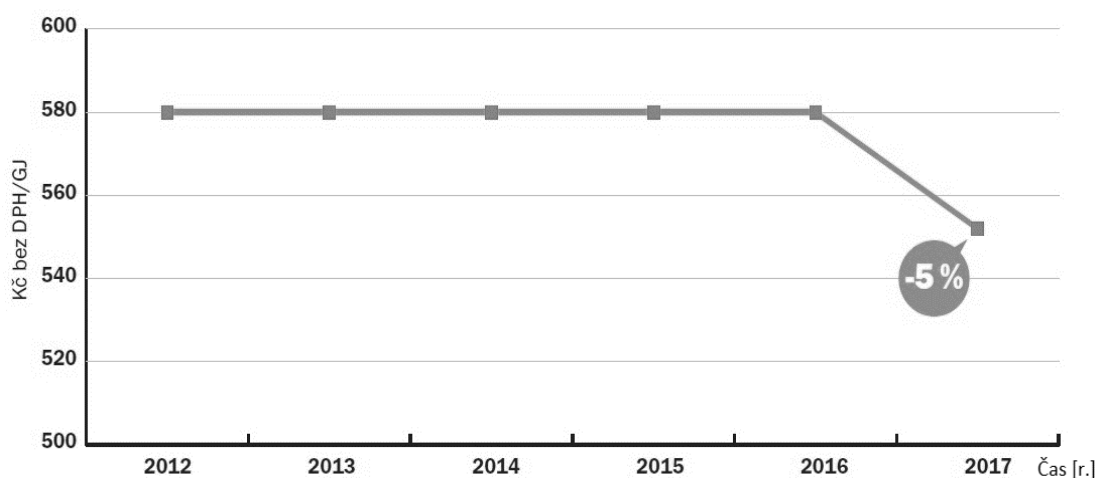
**Graf 5.1.3 Citlivostná analýza vzhľadom na zmenu ceny plynu.**

Ďalšia citlivostná analýza sa venuje zmene diskontnej sadzby ČNB. Z grafu 5.1.4 je vidno, že zmeny v diskontnej sadzbe boli v predchádzajúcich rokoch výrazné.

**Graf 5.1.4 Vývoj diskontnej sadzby ČNB v rokoch 2005 - 2016. [23]**

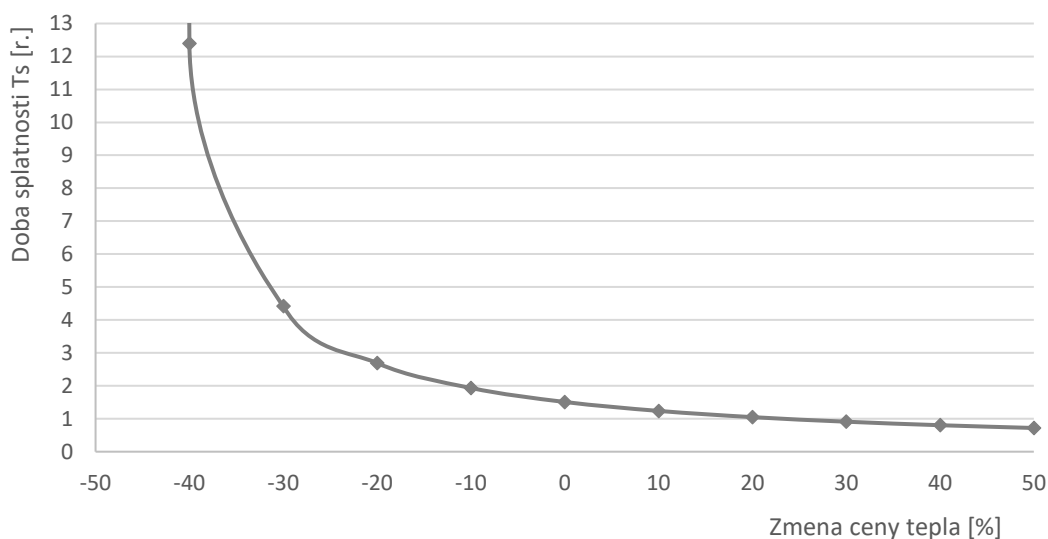
**Graf 5.1.5 Citlivostná analýza vzhľadom na zmenu diskontnej sadzby ČNB.**

Citlivostná analýza ukázala silnú necitlivosť na zmenu diskontovanej sadzby ČNB. Je to z dôvodu rýchlej návratnosti investície. Diskontná sadzba sa nestihne prejaviť.

**Graf 5.1.6 Cena tepla v teplárnach Brno v rokoch 2012 - 2017. [25]**

Z grafu 5.1.6 je zjavné, že cena tepla má veľkú zotrvačnosť oproti cenám iných energií (napr. cena plynu – graf 5.1.2). Táto zotrvačnosť však nebude fungovať ak budú ceny iných energií rásť. Preto je toto potrebné brať do úvahy. V skutočnosti by však zmeny ceny tepla alebo plynu nemali až takú váhu na dobu splatnosti. Stúpali by totiž ekvivalentne.

Graf 5.1.7 Citlivostná analýza vzhľadom na zmenu ceny tepla.



## 5.2 Kogeneračná jednotka

Pre výpočet kogeneračnej jednotky sú k dispozícii cenové ponuky od firmy Tedom a Motorgas. Ponúkaný výrobok od firmy Motorgas (INdoor MGM 53C) má kompaktnejšie rozmery ( $2600 \times 1600 \times 2150$  mm) a je ho možné umiestniť do terajšej výmenníkovej stanice aj s akumulacnou nádržou. S ponukou od firmy Tedom to nie je tak jednoduché. Ponúkaná kogeneračná jednotka Cento T80 SE je príliš dlhá (4400 mm) a nezmestila by sa do miestnosti výmenníkovej stanice aj s potrebným priestorom okolo. Preto je potrebné navýšiť investíciu o cenu kontajnerového prevedenia (umiestnenie vedľa spomínanej technickej miestnosti).

Pre variant vykurovania kogeneračnej jednotky bude potreba opäť riešiť plynovú prípojku, odvod spalín komínom a aj plynový kotol na pokrytie pološpičkového a špičkového výkonu vykurovania a aj vykurovanie počas odstávky kogeneračnej jednotky pre servis. Ďalej bude potrebné vymeniť elektromer za taký, ktorý bude počítat aj výkon dodaný do siete. Z toho vyplývajú výrazne vyššie investičné náklady. KJ túto nevýhodu dobieha predajom elektrickej energie a dotáciou na podporu KVET.

Ponúkaná jednotka MGM53C má menovitý elektrický výkon  $51 \text{ kW}_e$  a tepelný výkon  $78 \text{ kW}_t$ . Modulovať elektrický výkon je možné od 40 % do 100 %, pričom tepelný výkon má o niečo nižšiu moduláciu. Minimálny tepelný výkon je približne  $45 \text{ kW}_t$ , čo je o niečo viac ako potrebný tepelný výkon na výrobu TUV ( $39 \text{ kW}_t$ ). Preto bude potrebné reguláciu výkonu nastaviť ešte nižšie alebo sa to bude dať riešiť vypínaním KJ každý deň na niekoľko hodín (nabitá akumulacná nádrž má dostatok tepla na pokrytie niekoľkých hodín ohrevu TUV). Elektrická účinnosť tejto jednotky je 34,3 %, pričom znižovaním výkonu klesá. Tepelná



účinnosť je 52,5 %, pričom znižovaním výkonu naopak rastie. Celková účinnosť (86,9 %) klesá znižovaním výkonu iba mierne.

Miestnosť, kde bude umiestnená KJ je potrebné dostatočne vetrať. Táto jednotka vyžaduje vetranie o intenzite 3-násobnej výmeny vzduchu za hodinu. V zimnom období, ak je KJ odstavená, sa vyžaduje udržanie teploty vzduchu aspoň na úrovni 5 °C. V tomto prípade to nebude problém, pretože v rovnakej miestnosti bude umiestnený aj plynový kotol a akumulčná nádrž, ktoré svojimi tepelnými stratami určite pokryjú tepelnú stratu miestnosti pri vnútornej teplote 5 °C. Ďalej si požiadavky na stavebnú pripravenosť pre KJ vyžadujú ešte detektor úniku plynu aj napriek tomu, že KJ už jeden detektor obsahuje. Táto položka bude zarátaná v cene investície.

Položky pre investíciu sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke 5.2.1. Ceny vychádzajú aj z cenovej ponuky na plynové kotly, pretože iné cenové ponuky práca nemala k dispozícii. Niektoré položky boli ponížené, keďže je potrebný nižší výkon (napr. 2 kotly namiesto 3 ks). Predpokladá sa aj použitie protihlukovej kapoty, keďže sa KJ nachádza v budove bytového domu. Nacenená protihluková kapota znižuje hlučnosť KJ z 90 dB na 75 dB. Investičné náklady sú súčtom cien nasledujúcich položiek:

Tabuľka 5.2.1 Ceny z cenových ponúk potrebné pre výpočet investície.

POLOŽKA	CENA BEZ DPH (Kč)	CENA S DPH (Kč)
2 KS VAILLANT VU 1206/5-5ECOTECPLUS	275 600,-	333 476,-
1 KS MONTÁŽNA SADA PRE 3 KOTLY V RADE	127 200,-	153 912,-
1 KS REGULÁCIA CALORMATIC 630	12 200,-	14 762,-
1 KS KASKÁDOVÝ MODUL VR 32	2 110,-	2 553,-
2 KS EXPANZOMAT 8 LITROV	1 972,-	2 386,-
2 KS ELEKTRICKÁ SPETNÁ KLAPKA 110MM	20 600,-	24 926,-
1 KS ZÁKLADNÁ SADA PRE 2 KOTLY V RADE Ø 200MM	12 600,-	15 246,-
1 KS ROZŠIŘUJÚCA SADA PRE 1 KOTOL V RADE Ø 200MM	3 600,-	4 356,-
1 KS SADA PRE NAPOJENIE DO KOMÍNA Ø 200MM	13 700,-	16 577,-
1 KS DRŽIAK ODSŤUPU (10KS) 200MM	5 190,-	6 280,-
1 KS REVIZNÝ TKUS Ø 200MM	4 870,-	5 893,-
1 KS KOLENO 87° Ø 200MM	4 020,-	4 864,-
2 KS KOLENO 30° Ø 200MM	8 040,-	9 728,-
2 KS TRÚBKA 0,5M Ø 200MM	3 800,-	4 598,-
2 KS TRÚBKA 1M Ø 200MM	4 860,-	5 881,-
11 KS TRÚBKA 2M Ø 200MM	45 430,-	54 970,-
IZOLÁCIE KU KOTLU	2 667,-	3 227,-
REŽIJNÝ A SPOTREBNÝ MATERIÁL	4 000,-	4 840,-
MONTÁŽ REGULÁCIE	7 000,-	8 470,-
SKÚŠKY A REVÍZIE	14 000,-	16 940,-
MONTÁŽ	45 000,-	54 450,-
UVEDENIE DO PREVÁDZKY A ZAŠKOLENIE OBSLUHY	7 000,-	8 470,-
DOPRAVA	4 200,-	5 082,-
AKUMULAČNÁ NÁDRŽ LEŽATÁ 4000L	57 600,-	69 969,-
IZOLÁCIA	17 780,-	21 514,-
DOPRAVA A MONTÁŽ NÁDRŽE	12 000,-	14 520,-
PLYNOVÁ PRÍPOJKA	80 000,-	96 800,-
JEDNOTKA MGM53C + PROTIHLUKOVÁ KAPOTA	1 570 000,-	1 899 700,-
MONTÁŽ KJ	70 000,-	84 700,-
DETEKTOR PLYNU	500,-	605,-
VYPRACOVANIE PROJEKTU	50 000,-	60 500,-
<b>CELKOM (N)</b>	<b>2 487 539,-</b>	<b>3 009 922,-</b>

Výpočet prevádzkových nákladov  $N_p$  bude v tomto prípade odlišný. K nákladom na palivo sa pripočítajú prevádzkové náklady od dodávateľa KJ. Sú účtované za vyrobenú elektrickú energiu pomocou KJ. Výnosy sa nebudú skladať len z ušetrených nákladov na teplo z teplární, ale patria sem aj výnosy z predanej elektrickej energie a štátny príspevok na KVET.

Náklady na palivo  $N_{pal}$  sa spočítajú podobne ako v predchádzajúcej kapitole až na to, že výroba tepla v KJ má výrazne nižšiu účinnosť, pretože časť sa premieňa na elektrickú energiu. Práca počíta s účinnosťou pre strednú hodnotu zaťaženia 75 %. Teplom z KJ je možné pokryť 70 % potreby tepla, ak sa predpokladá výroba tepla pomocou KJ 50 týždňov v roku (2 týždne sú na servis).  $c_{D,p}$  je cena dane zo zemného plynu pre stacionárne motory.

$$N_{\text{pal}} = 0,3 * \frac{Q_{V,s} * c_{\text{plyn}}}{\eta_{\text{kot}} * 0,0036} + 0,7 * \frac{Q_{V,s} * (c_{\text{plyn}} + c_{D,p})}{\eta_{\text{kog}} * 0,0036} + 12 * c_{\text{pri}} = 1\,491\,955 \text{ [Kč]} \quad (5.9)$$

Mzdové náklady sa v tomto prípade nebudú počítateľ, keďže dodávateľ KJ si účtuje servisné náklady. Tieto náklady predpokladajú výmeny prevádzkových tekutín a menšie opravy. Vypočítajú sa z vyrobenej elektrickej energie. Opäť sa predpokladá zjednodušený výpočet ako v predchádzajúcom odseku.

$$E_{\text{kog}} = 0,7 * Q_{V,s} * \frac{\eta_{\text{kog,el}}}{\eta_{\text{kog}}} * \frac{1}{3\,600\,000} = 310\,288 \text{ [kWh]} \quad (5.10)$$

Kde  $E_{\text{kog}}$  je množstvo vyrobenej elektrickej energie pomocou KJ za rok.  $\eta_{\text{kog,el}}$  je účinnosť KJ na vyrobenú elektrickú energiu. Servisné náklady  $N_s$  sa potom spočítajú:

$$N_s = E_{\text{kog}} * c_s = 139\,630 \text{ [Kč]} \quad (5.11)$$

Tabuľka 5.2.2 Ceny potrebné pre výpočet prevádzkových nákladov.

POLOŽKA	CENA BEZ DPH (Kč)	CENA S DPH (Kč)
NÁKLADY NA PALIVO	1 233 020,-	1 491 955,-
SERVISNÉ NÁKLADY	139 630,-	168 952,-
<b>CELKOM (<math>N_p</math>)</b>	<b>1 372 650,-</b>	<b>1 660 907,-</b>

Výnosy sa v tejto kapitole skladajú z ušetrených nákladov ako v predchádzajúcej kapitole, z predaja silovej elektrickej energie a zo zeleného bonusu. Cena predaja silovej elektrickej energie  $c_{e,p}$  bola odhadnutá na 0,9 Kč/kWh. Nepodarilo sa zistiť od dodávateľa elektrickej energie. Zelený bonus  $c_{zb}$  je stanovený na výrobu elektrickej energie kogeneráciou na zariadenie, ktoré bude uvedené do prevádzky do konca roku 2017 [26]. Z tabuľky je zvolená výška zeleného bonusu pre KJ s ročnými prevádzkovými hodinami 4400 h.

$$V = Q_{V,s} * c_{\text{tep}} + E_{\text{kog}} * (c_{\text{zb}} + c_{e,p}) = 2\,541\,595 \text{ [Kč]} \quad (5.12)$$

Následne je možné spočítať prostú splatnosť  $T_0$  podľa vzťahu 5.4. Po dosadení dostaneme  $T_0 = 3,418$  rokov. Ďalej sa zo splatnosti spočíta doba splatnosti podľa vzťahu 5.5:  $T_s = 3,421$  rokov.

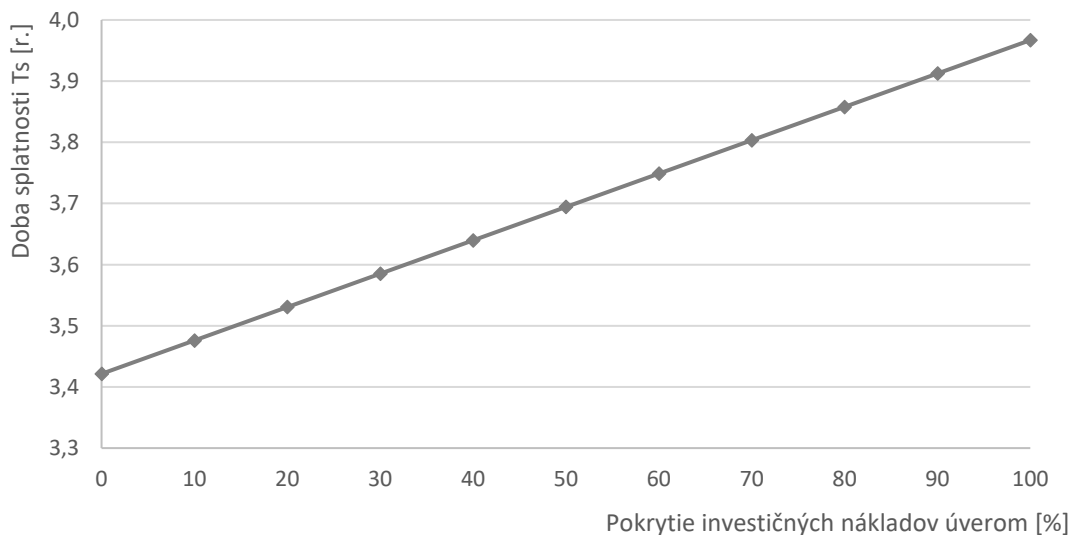
Podobne ako v predchádzajúcej kapitole sa budú predpokladať dva varianty. Podľa vzťahov 5.6, 5.7, a 5.8 boli spočítané hodnoty Cash-Flow, aktuálna hodnota CF a DCF. Výsledky sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 5.2.3 Prehľad výsledkov ekonomickej analýzy pre variantu vlastného financovania.

J (ROK)	$N_i$ (Kč)	CF (Kč)	$CF_{R-J}$ (Kč)	DCF (Kč)
0	-3 009 922,-	-3 009 922,-	-3 009 922,-	-3 009 922,-
1		880 688,-	880 248,-	-2 129 674,-
2		880 688,-	879 808,-	-1 249 867,-
3		880 688,-	879 368,-	- 370 499,-
4		880 688,-	878 929,-	508 430,-
5		880 688,-	878 489,-	1 386 919,-
6		880 688,-	878 050,-	2 264 969,-
7		880 688,-	877 611,-	3 142 581,-
8		880 688,-	877 173,-	4 019 754,-
9		880 688,-	876 734,-	4 896 488,-
10		880 688,-	876 296,-	5 772 784,-
11		880 688,-	875 858,-	6 648 643,-
12		880 688,-	875 421,-	7 524 064,-

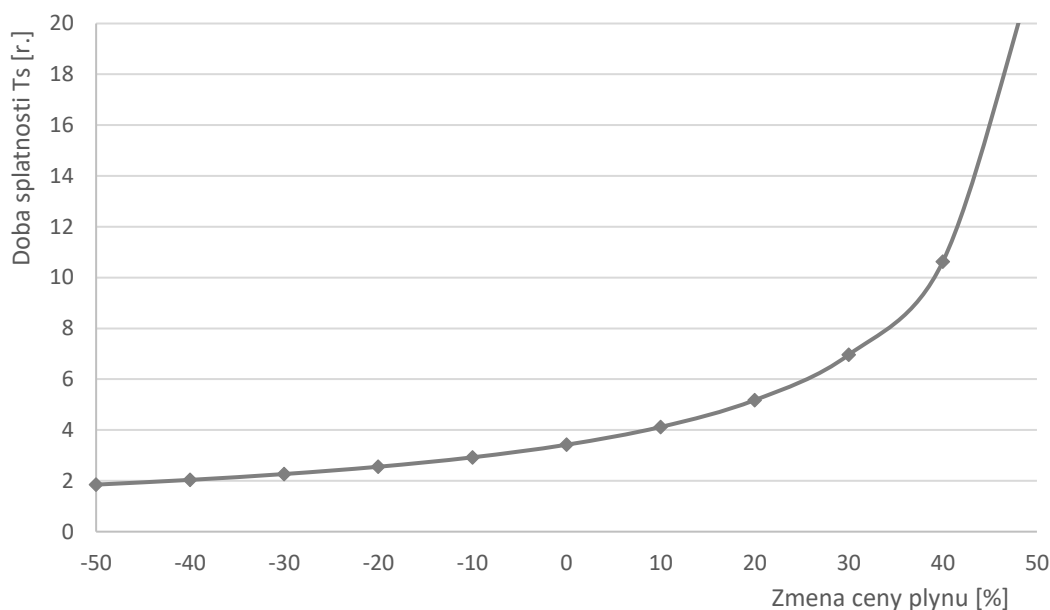
Pre druhý prípad financovania z bankového úveru sa opäť spracuje graf závislosti podielu úveru na návratnosti. Aj v tomto prípade sa predpokladá splatnosť úveru 5 rokov. Pre tento prípad sa počíta s úverom s ročnou úrokovou sadzbou 3 %. Úroková miera síce nebola poskytnutá bankou, ale je odhadnutá na základe momentálnych úrokových sadzieb na podobné úvery.

Graf 5.2.1 Závislosť podielu úveru na návratnosti.



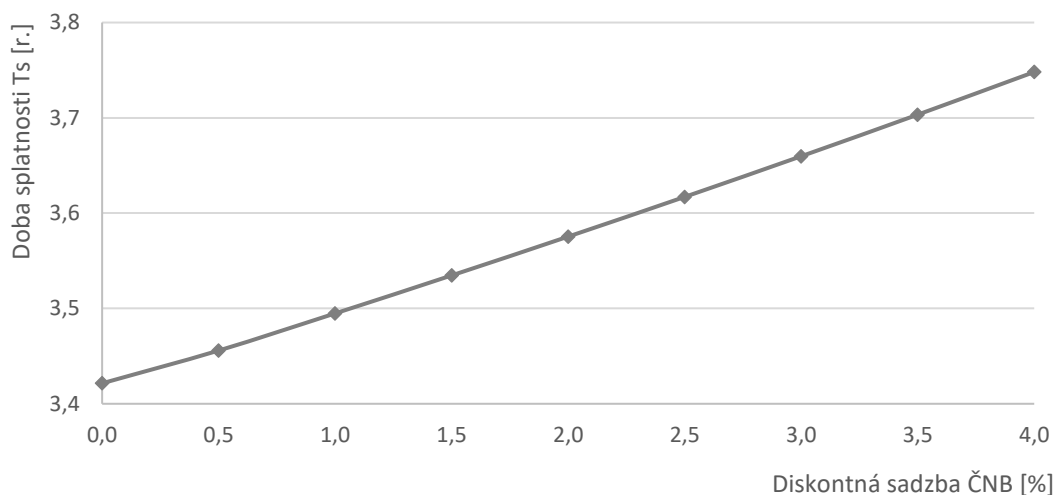
Tak ako v predchádzajúcej kapitole, tak aj tu bude prevedená citlivosť analýza. Aby ich bolo možné porovnať, tak bude prevedená pre rovnaké parametre.

Graf 5.2.2 Citlivostná analýza vzhľadom na zmenu ceny plynu.



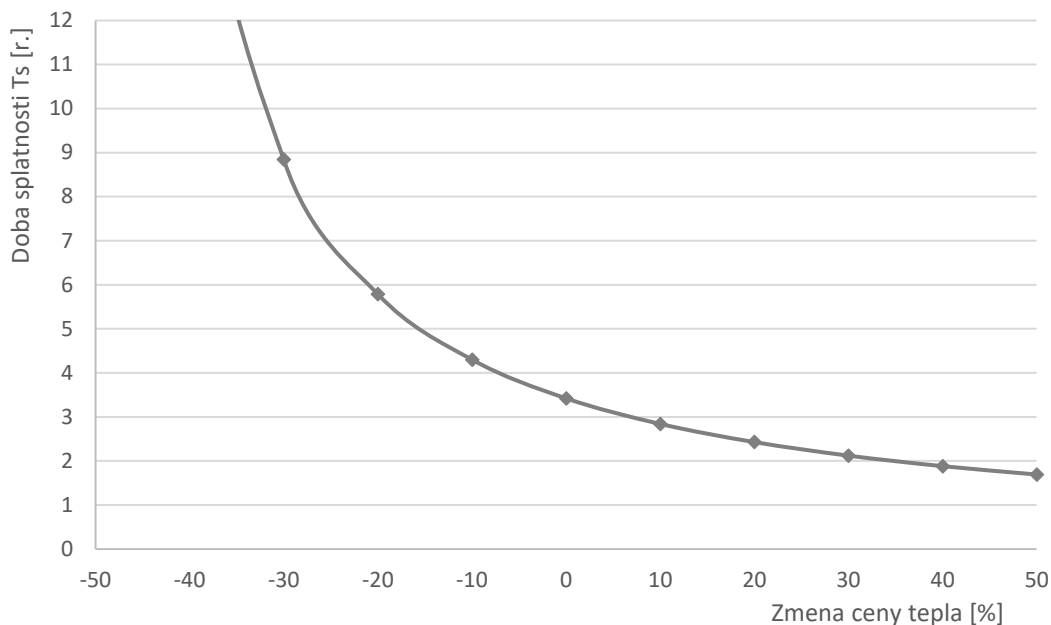
Z predchádzajúceho grafu vyplýva, že kogeneračná jednotka na cenu plynu je výraznejšie citlivá. Na druhej strane je potrebné spomenúť, že so stúpajúcou cenou plynu stúpa aj cena elektrickej energie. Čiže v konečnom dôsledku sa bude reálne pohybovať doba splatnosti na zmene ceny plynu pohybovať miernejšie.

Graf 5.2.3 Citlivostná analýza vzhľadom na zmenu diskontnej sadzby ČNB.



Na grafe 5.2.3 je už viac zreteľný vplyv diskontnej sadzby na dobu splatnosti. Je to spôsobené dlhšou dobou splatnosti. Graf ukazuje aj malý vplyv sadzby ČNB pri terajšej hodnote – 0,05 %.

Graf 5.2.4 Citlivostná analýza vzhľadom na zmenu ceny tepla.



K dispozícii je aj cenová ponuka na druhú kongeneračnú jednotku. Ponúknutá je KJ Cento T80 od firmy Tedom. KJ má menovitý elektrický výkon 81 kW a menovitý tepelný výkon 120 kW. Výkon je opäť modulovateľný.

Prevedenie tejto KJ bude kontajnerové, ako už bolo spomenuté. Je to z dôvodu, že by sa KJ nezmestila do technickej miestnosti. Tento kontajner už v sebe obsahuje tlmenie hluku a aj ventilačné zariadenie. Spaliny bude potrebné opäť vyviešť do komína, aby sa výfukové plyny dostatočne rozptýlili.

Jednotlivé položky pre investíciu vychádzajú z rovnakej úvahy ako pri predchádzajúcej KJ MGM53C. Investičné náklady sú súčtom cien jednotlivých položiek v nasledujúcej tabuľke 5.2.4:

Tabuľka 5.2.4 Ceny z cenových ponúk potrebné pre výpočet investície.

POLOŽKA	CENA BEZ DPH (Kč)	CENA S DPH (Kč)
2 KS VAILLANT VU 1206/5-5ECOTECPLUS	275 600,-	333 476,-
1 KS MONTÁŽNA SADA PRE 3 KOTLY V RADE	127 200,-	153 912,-
1 KS REGULÁCIA CALORMATIC 630	12 200,-	14 762,-
1 KS KASKÁDOVÝ MODUL VR 32	2 110,-	2 553,-
2 KS EXPANZOMAT 8 LITROV	1 972,-	2 386,-
2 KS ELEKTRICKÁ SPETNÁ KLAPKA 110MM	20 600,-	24 926,-
1 KS ZÁKLADNÁ SADA PRE 2 KOTLY V RADE Ø 200MM	12 600,-	15 246,-
1 KS ROZŠIŘUJÚCA SADA PRE 1 KOTOL V RADE Ø 200MM	3 600,-	4 356,-
1 KS SADA PRE NAPOJENIE DO KOMÍNA Ø 200MM	13 700,-	16 577,-
1 KS DRŽIAK ODSŤUPU (10KS) 200MM	5 190,-	6 280,-
1 KS REVIZNÝ TKUS Ø 200MM	4 870,-	5 893,-
1 KS KOLENO 87° Ø 200MM	4 020,-	4 864,-
2 KS KOLENO 30° Ø 200MM	8 040,-	9 728,-
2 KS TRÚBKA 0,5M Ø 200MM	3 800,-	4 598,-
2 KS TRÚBKA 1M Ø 200MM	4 860,-	5 881,-
11 KS TRÚBKA 2M Ø 200MM	45 430,-	54 970,-
IZOLÁCIE KU KOTLU	2 667,-	3 227,-
REŽIJNÝ A SPOTREBNÝ MATERIÁL	4 000,-	4 840,-
MONTÁŽ REGULÁCIE	7 000,-	8 470,-
SKÚŠKY A REVÍZIE	14 000,-	16 940,-
MONTÁŽ	45 000,-	54 450,-
UVEDENIE DO PREVÁDZKY A ZAŠKOLENIE OBSLUHY	7 000,-	8 470,-
DOPRAVA	4 200,-	5 082,-
AKUMULAČNÁ NÁDRŽ LEŽATÁ 4000L	57 600,-	69 969,-
IZOLÁCIA	17 780,-	21 514,-
DOPRAVA A MONTÁŽ NÁDRŽE	12 000,-	14 520,-
PLYNOVÁ PRÍPOJKA	80 000,-	96 800,-
JEDNOTKA CENTO T80 KONTAJNEROVÉ PREVEDENIE	2 540 000,-	3 073 400,-
MONTÁŽ KJ	70 000,-	84 700,-
VYPRACOVANIE PROJEKTU	50 000,-	60 500,-
<b>CELKOM (N)</b>	<b>3 457 039,-</b>	<b>4 183 017,-</b>

Prevádzkové náklady sa spočítajú podobne ako u predchádzajúcej KJ. KJ Cento T80 má vyšší nominálny výkon, preto je schopná pokryť väčšiu spotrebu tepla. Pri rovnakej úvahe ako pri predchádzajúcej KJ to je až 85 %. Práca v tomto prípade počíta so strednou hodnotou zaťaženia 50 %, pretože KJ má menovitý výkon vyšší a v prevádzke ju bude potreba viac priškrcovať. Náklady na palivo sú nižšie ako u predchádzajúcej KJ aj napriek väčšiemu pokrytiu výroby tepla. Je to z dôvodu vyššej účinnosti výroby tepla (nižší teplárenský modul).

$$N_{\text{pal}} = 0,15 * \frac{Q_{V,s} * c_{\text{plyn}}}{\eta_{\text{kot}} * 0,0036} + 0,85 * \frac{Q_{V,s} * (c_{\text{plyn}} + c_{D,p})}{\eta_{\text{kog}} * 0,0036} + 12 * c_{\text{pri}} = 1\,463\,395 \text{ [Kč]} \quad (5.13)$$

Následne sa vypočíta množstvo vyrobenej elektrickej energie.

$$E_{kog} = 0,85 * Q_{V,S} * \frac{\eta_{kog,el}}{\eta_{kog}} * \frac{1}{3\,600\,000} = 312\,266 \text{ [kWh]} \quad (5.10)$$

Elektrická energia vyrobená touto KJ je len zanedbateľne vyššia napriek väčšiemu pokrytiu tepla. Opäť je to spôsobené nižším teplárenským modulom.

Servisné náklady sa spočítajú podľa vzťahu 5.11.  $N_s = 81\,198 \text{ Kč}$ .

Tabuľka 5.2.5 Ceny potrebné pre výpočet prevádzkových nákladov.

POLOŽKA	CENA BEZ DPH (Kč)	CENA S DPH (Kč)
NÁKLADY NA PALIVO	1 209 417,-	1 463 395,-
SERVISNÉ NÁKLADY	81 198,-	98 250,-
<b>CELKOM (<math>N_p</math>)</b>	<b>1 290 615,-</b>	<b>1 561 645,-</b>

Výnosy sa spočítajú ako u predchádzajúcej KJ podľa vzťahu 5.12.  $V = 2\,546\,303 \text{ Kč}$ . Následne je možné spočítať prostú splatnosť podľa vzťahu 5.4:  $T_0 = 4,248 \text{ rokov}$ . Podobne sa spočíta aj doba splatnosti podľa vzťahu 5.5:  $T_s = 4,253 \text{ rokov}$ . Jednotlivé splatnosti vyšli dlhšie ako u predchádzajúcej KJ, preto sa práca s touto KJ nebude ďalej zaoberať. Je to z dôvodu nevhodnosti KJ pre posudzovaný bytový dom.

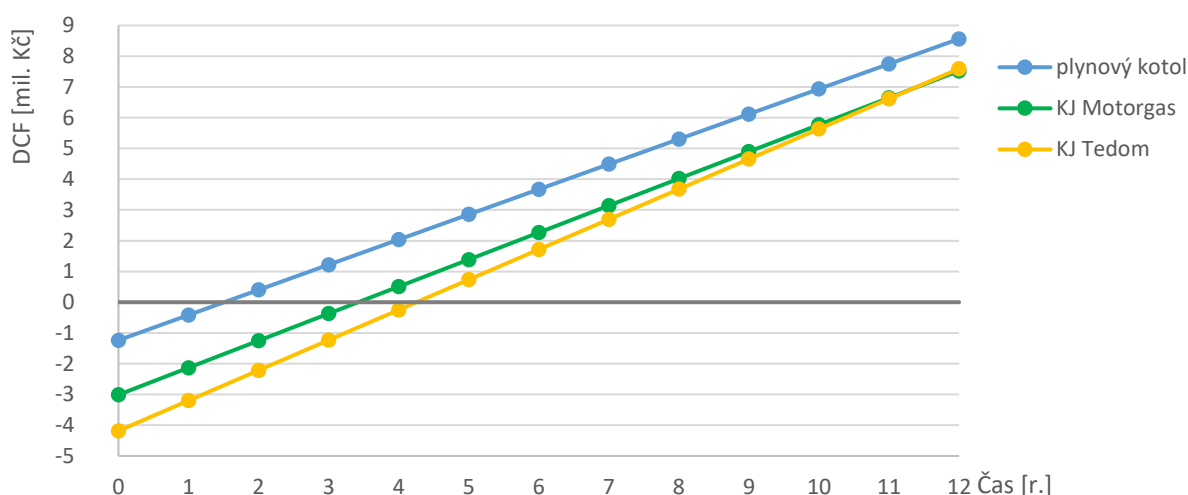


## 6. Porovnanie jednotlivých variantov

Pre porovnanie sú pre investora najdôležitejšie dva parametre - investičné náklady a návratnosti jednotlivých investícií. Práca porovnáva finančné toky v priebehu 12 rokov. Kogeneračné jednoty po takom čase už potrebujú generálnu opravu. To znamená výrazné finančné náklady. Dodávateľ plynových kotlov udáva síce životnosť až 20 rokov, ale po dvanástich rokoch sa už pravdepodobne vyskytnú potrebné investície do opravy. Navyše ak by sa návratnosť neprejavila do spomínaných dvanástich rokov, tak by investície boli ťažko obhájiteľné.

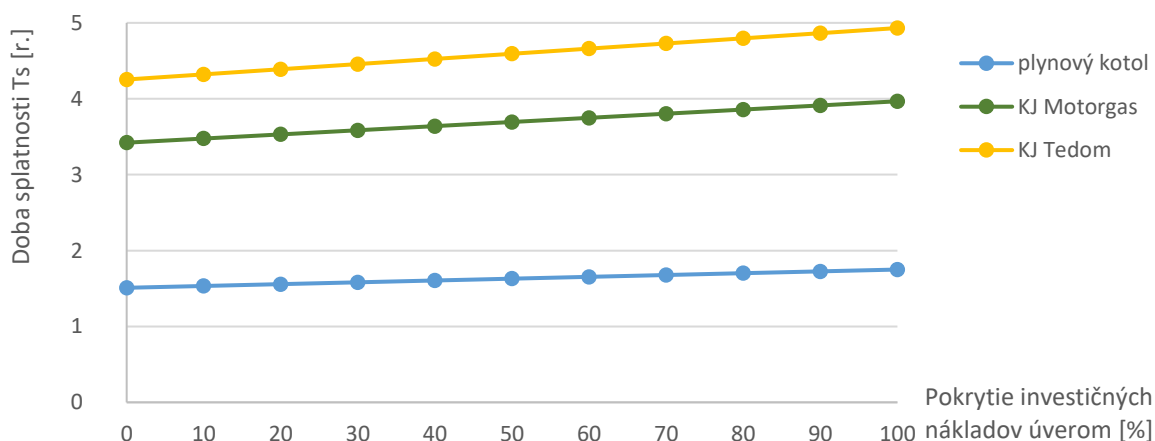
Prevedenie KJ vnútri je ekonomicky výhodnejšie, pretože odpadajú investičné náklady pre kontajner. Treba však myslieť na tlmenie hluku a použiť pod KJ gumové podložky, aby sa hluk neprenášal do podlahy a ňou do celej konštrukcie.

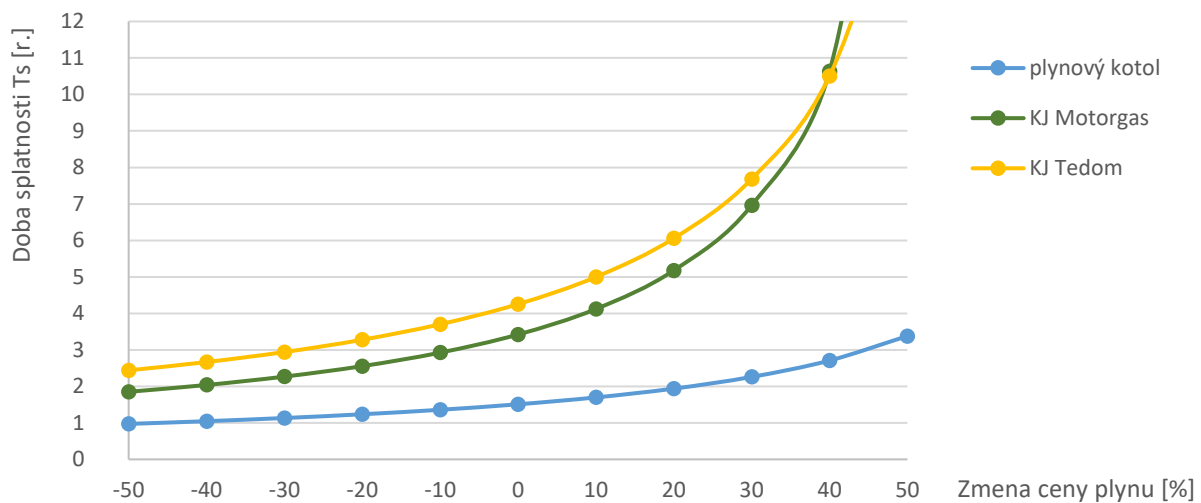
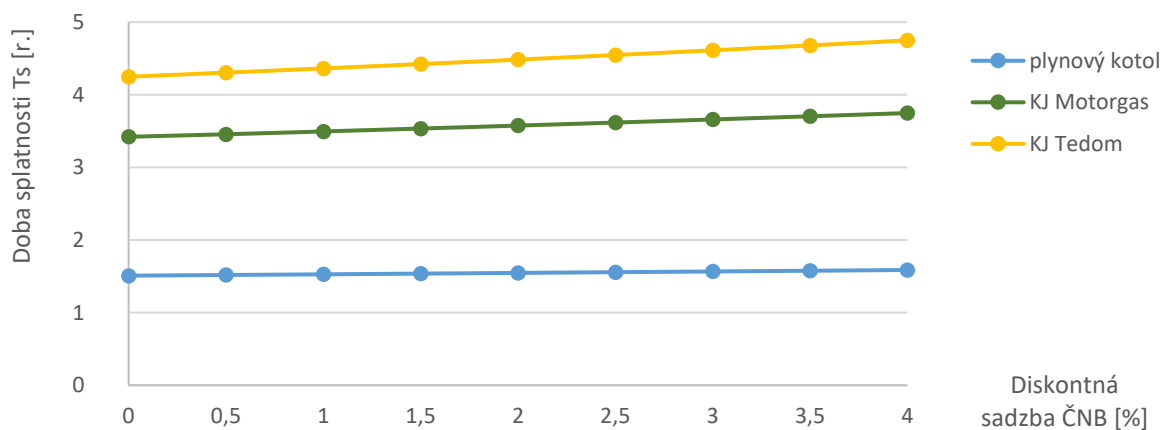
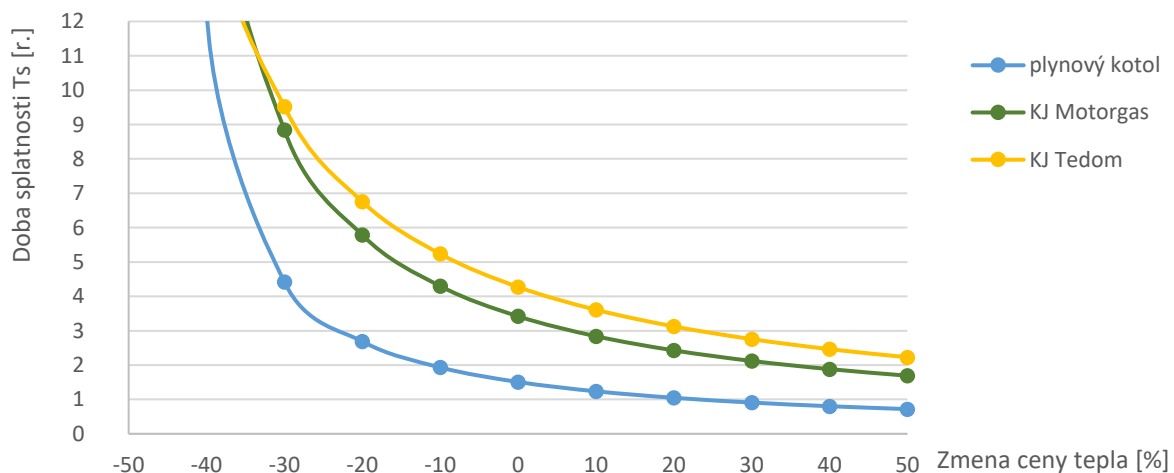
Graf 6.1 Priebeh kumulovaných diskontovaných CF pre jednotlivé varianty.



Z grafu 6.1 jasne vyplýva najväčšia finančná výhodnosť pre variantu vykurovania pomocou kaskády plynových kotlov. Ďalej je z tohto grafu vidieť, že výkonnejšia KJ od Tedomu dobehne s výnosmi menšiu KJ. Je to tým, že dokáže pokryť väčšiu potrebu tepla.

Graf 6.2 Závislosť podielu úveru na návratnosti pre jednotlivé varianty.



**Graf 6.3 Citlivostná analýza vzhľadom na zmenu ceny plynu pre jednotlivé varianty.****Graf 6.4 Citlivostná analýza vzhľadom na zmenu diskontnej sadzby ČNB pre jednotlivé varianty.****Graf 6.5 Citlivostná analýza vzhľadom na zmenu ceny tepla pre jednotlivé varianty.**

U predchádzajúcich porovnaní citlivostných analýz opäť vyzerá byť kaskáda plynových kotlov najmenej citlivá na jednotlivé zmeny. Je to spôsobené krátkou dobou splatnosti. Vyplýva z toho, že citlivosť investície závisí silne na dobe splatnosti. Aj preto sú investormi hľadané krátkodobé investície.

Z ekologického hľadiska sa zdá byť však výhodnejšia KJ. To porovnanie však nie je tak jednoduché. Výroba KJ je niekoľkonásobne náročnejšia ako výroba kotlu. Tento fakt sa odráža aj na investičných nákladoch.

Z hľadiska spoľahlivosti je výhodnejší variant kaskády kotlov. Navrhovaná kaskáda je zložená z troch kotlov a pri výpadku jedného po väčšinu času nebude problém s vykurovaním. V prípade kogeneračnej jednotky, by sa systém nezaobišiel bez kaskády aspoň dvoch kotlov. Je to z dôvodu častejších servisných úkonov na KJ, ale aj pre prípad jej poruchy.

## 7. Záver

Cieľom práce bolo analyzovať a popísať súčasný stav potreby tepla posudzovaného bytového domu. Potreba tepla bola určená dvoma spôsobmi. V kapitole 3.2.1 bola tepelná strata spočítaná pomocou výpočtu podľa normy. Ten popisuje spotrebu tepla na vykurovanie za dopredu určených vonkajších teplotných podmienok. Pre spotrebu tepla na ohrev TUV v tejto kapitole bol zvolený výpočet pomocou porovnateľného bytového domu a jeho spotreby TUV. V BD Majdalenky totiž spotreba TUV nie je nijako zvlášť meraná a ani to nie je možné, pretože každý byt si vyrába TUV z rozvodov tepla pre vlastnú spotrebu. V kapitole 3.2.2 bola tepelná strata vypočítaná na základe reálnych spotrieb tepla pre posudzovaný BD. K dispozícii mala práca celkové spotreby tepla. Tieto sa v jednotlivých rokoch výrazne odlišovali kvôli rozdielnym teplotným podmienkam v roku. Potreba tepla bola odhadnutá zo spotreby tepla v letných mesiacoch, keď nie je potrebné teplo na vykurovanie objektu. Rozdiel v celkovej spotrebe tepla (vykurovanie a ohrev TUV) sa odlišoval iba o 13 %. Skutočná spotreba je posledné roky nižšia kvôli nadpriemerne teplému počasiu v posledných rokoch. Z týchto údajov boli zostrojené diagram spotreby tepla a ročný diagram trvania potreby tepla pre jednotlivé roky a priemerný rok.

Nasledujúca kapitola oboznamuje o možnostiach vykurovania. Každá možnosť má svoje výhody, ale nesie so sebou aj problémy.

Všetky možnosti však nie sú vhodné pre posudzovaný BD. Zo všetkých možností sa ďalej práca zaoberá možnosťou vykurovania pomocou kaskády plynových kotlov a vykurovaním odpadným teplom z kogeneračnej jednotky. V druhom prípade odpadné teplo z KJ nepokrýva potrebu tepla pre BD v chladných dňoch, preto mu vypomáhajú plynové kotle ako pološpičkový a špičkový zdroj tepla. Jednotlivé varianty investícií boli spočítané so všetkými nákladmi. Výpočty predpokladali zmeny podľa momentálnej diskontnej sadzby a žiadnu zmenu ceny paliva alebo tepla. Preto sú ďalej prevedené citlivostné analýzy pre jednotlivé prípady zmien.

V poslednej kapitole práca porovnáva jednotlivé navrhnuté varianty. Líšia sa nielen z ekonomického hľadiska, ale aj z technického prevedenia alebo aj ekologickými dôsledkami. Rýchlu návratnosť oboch variantov spôsobuje vysoká cena tepla z teplární. Ako je zrejmé z grafu 5.1.6, tak cena tepla výrazne v nasledujúcom období nebude klesať. Teplárne totiž reagujú oneskorene na pokles ceny zemného plynu. Tá však od svojho minima (začiatok roka 2016) pozvoľne stúpa.

Netreba však zabúdať na výhody centrálného vykurovania. Teplárne sú povinné dodávať teplo spoľahlivo. Navyše nie je potrebná prakticky žiadna údržba s výmenníkovou stanicou. Ak sa investor rozhodne pre náhradu momentálneho riešenia vykurovania, tak z práce vyplýva najvýhodnejšie vykurovanie pomocou plynových kotlov. Nielen z ekonomického hľadiska ale aj z technického.

## Literatúra

- [1] KRBEK, Jaroslav, Jan FIEDLER a Bohumil POLESNÝ. Strojní zařízení tepelných centrál: návrh a výpočet. 1. vyd. Brno: PC-DIR, 1999, 217 s. ISBN 80-214-1334-4.
- [2] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích. Brno: PC-DIR, 1997, 100 s.
- [3] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Projektování tepelných centrál. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1986.
- [4] DONAŤÁKOVÁ, Dagmar. Energetický štítek budovy. Brno: TIPRO projekt s.r.o., 2007
- [5] Technická zpráva pro bytový dom „Nové Majdalénky“, objekt C1-C6 v Brně
- [6] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličín*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [7] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [8] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [9] Topinfo s.r.o.: Tabulky a výpočty. *Vytapení.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2017-02-02]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapeni-a-ohrev-teple-vody>
- [10] JAGA GROUP, s.r.o.: Aká je spotreba teplej vody na obyvateľa v bytovom dome?. *Asb.sk* [online]. [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: <http://www.asb.sk/tzb/energie/aka-je-spotreba-teplej-vody-na-obyvatela-v-bytovom-dome>
- [11] Topinfo s.r.o.: Kondenzační kotel pro každého (I). *tzf.info.cz* [online]. [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/868-kondenzacni-kotel-pro-kazdeho-i>
- [12] WEBY GROUP s.r.o.: Výber kotla, rozdelenie a kategorizácia. *stavebnik.sk* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.stavebnik.sk/clanky/vyber-kotla.html>
- [13] Vega s.r.o.: Plynový kondenzační kotel Vitodens 111-W. *stavebnictvi3000.cz* [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/plynovy-kondenzacni-kotel-vitodens-111-w/>
- [14] Step-mont s.r.o.: Co je hořák MatriX. *stepmont.cz* [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.stepmont.cz/horak-matrix.html>
- [15] SINCLAIR CORPORATION, Ltd.: História tepelných čerpadel. *sinclairheatpumps.eu* [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.sinclairheatpumps.eu/sk/informacie/historia-tepelnych-cerpadiel/>
- [16] NOVOTERM s.r.o.: Princíp fungovania tepelného čerpadla. *Novoterm.sk* [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.novoterm.sk/technologie/princip-fungovania-tepelneho-cerpadla.html>

- [17] ČSN EN 14511. *Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru*. Praha: Český normalizační institut, 2014.
- [18] web21: Kogeneračné jednotky. *Encerti.eu* [online]. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.encerti.eu/kogeneracne-jednotky/p46/n42>
- [19] AGO Modra: Slnko. *daa.fmph.uniba.sk* [online]. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.daa.fmph.uniba.sk/slnko>
- [20] PVGIS © European Union: Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe (Africa). <http://re.jrc.ec.europa.eu> [online]. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu\\_cmsaf\\_hor/G\\_hor\\_CZ.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_hor/G_hor_CZ.png)
- [21] ABHISHEK, Gautam, SUNIL Chamoli, ALOK Kumar, SATYENDRA Singh: A review on technical improvements, economic feasibility and world scenario of solar water heating system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd. (2017), pp. 541-562
- [22] ČEZ, a.s.: Cenník. *cez.cz* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/plyn/praktik/cenik.html>
- [23] Česká národní banka: Jak se vyvíjela diskontní sazba ČNB?. *cnb.cz* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: [https://www.cnb.cz/cs/faq/jak\\_se\\_vyvijela\\_diskontni\\_sazba\\_cnb.html](https://www.cnb.cz/cs/faq/jak_se_vyvijela_diskontni_sazba_cnb.html)
- [24] eurostat: Gas prices by type of user. *ec.europa.eu* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&pcode=ten00118&language=en&toolbox=data>
- [25] Teplárny Brno a.s.: Teplárny Brno, a.s. zlevnily teplo o 5 procent. *Teplarny.cz* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://www.teplarny.cz/cena-tepla>
- [26] Energetický regulační věstník. Jihlava: Energetický regulační úřad, 3/2017.

## Použité skratky a symboly

ZNAČKA	JEDNOTKA	NÁZOV
$c_{D,p}$	[Kč/kWh]	daň zo zemného plynu pre stacionárne motory
$c_{e,p}$	[Kč/kWh]	cena predaja silovej elektrickej energie
$c_{pri}$	[Kč/mesiac]	mesačný poplatok za plynovú prípojku
$c_{plyn}$	[Kč/kWh]	cena plynu
$c_s$	[Kč/kWh <sub>e</sub> ]	cena servisných nákladov
$c_{tep}$	[Kč/GJ]	cena tepla z teplární
$c_V$	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	merná tepelná kapacita vody
$c_{zb}$	[Kč/kWh]	cena zeleného bonusu
CF	[Kč]	Cash-Flow
CF <sub>r-j</sub>	[Kč]	aktuálna hodnota Cash-Flow
COP	[-]	vykurovací faktor (coefficient of performace)
d	[-]	diskontná sadzba ČNB
D	[K]	súčiniteľ zohľadňujúci počet vykurovaných dní a teploty v roku
d <sub>p</sub>	[K]	počet vykurovaných dní v roku
DCF	[Kč]	kumulovaný diskontovaný Cash-Flow
e	[-]	teplárenský modul
E	[J]	množstvo vyrobenej elektrickej energie
E <sub>kog</sub>	[J]	množstvo vyrobenej elektrickej energie pomocou KJ
H <sub>T,i</sub>	[W.K <sup>-1</sup> ]	súčiniteľ tepelnej straty
N <sub>i</sub>	[Kč]	investičné náklady
N <sub>p</sub>	[Kč]	prevádzkové náklady
N <sub>pal</sub>	[Kč]	cena nákladov za palivo za rok
N <sub>s</sub>	[Kč]	cena servisných nákladov
P <sub>aux</sub>	[W]	elektrický príkon potrebný na prekonanie tlakovej straty vo výparníku a kondenzátore, odtavovanie výparníka a vlastná regulácia tepelného čerpadla
P <sub>c</sub>	[W]	elektrický príkon kompresora
U <sub>em</sub>	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	priemerný súčiniteľ prestupu tepla
U <sub>em,N</sub>	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	priemerný súčiniteľ prestupu tepla vyžadovaný normou
U <sub>em,N,ra</sub>	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	požadovaná hodnota priemerného súčiniteľa prestupu tepla
U <sub>N,rc</sub>	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	doporučená hodnota pre súčiniteľ prestupu tepla
U <sub>w</sub>	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	súčiniteľ prestupu tepla pre okno

ZNAČKA	JEDNOTKA	NÁZOV
$V_d$	[m <sup>3</sup> ]	denná spotreba TUV
$V_{h,p}$	[m <sup>3</sup> ]	priemerná hodinová spotreba TUV
$V_{p,i}$	[m <sup>3</sup> ]	priemerná spotreba TUV v i-tej hodine
$V_N$	[m <sup>3</sup> ]	objem akumuláčnej nádrže
SCOP	[-]	sezónny vykurovací faktor
STN	[%]	stupeň tepelnej náročnosti budovy
$T_{N,max}$	[°C]	maximálna teplota v akumuláčnej nádrži
$T_{N,min}$	[°C]	minimálna teplota v akumuláčnej nádrži
$t_{TUV}$	[°C]	teplota ohriatej TUV
$t_{s,V}$	[°C]	teplota studenej vody
$Q$	[J]	množstvo vyrobeného tepla
$Q_{VYT}$	[J]	ročná spotreba tepla na vykurovanie
$Q_{TUV}$	[J]	ročná spotreba tepla na výrobu TUV výpočtová
$Q_{TUV,s}$	[J]	ročná spotreba tepla na výrobu TUV skutočná
$Q_{V,s}$	[J]	priemerná celková ročná spotreba tepla skutočná
$\rho_V$	[kg.m <sup>-3</sup> ]	hustota vody
$\varepsilon$	[-]	súčiniteľ zohľadňujúci reguláciu vykurovania
$\eta_0$	[-]	súčiniteľ zohľadňujúci obsluhu regulácie
$\eta_{kog}$	[-]	účinnosť KJ vo výrobe tepla
$\eta_{kog,el}$	[-]	účinnosť KJ vo výrobe elektrickej energie
$\eta_{kot}$	[-]	účinnosť kotla
$\eta_r$	[-]	súčiniteľ zohľadňujúci účinnosť rozvodov vykurovania
$\eta_{tc}$	[-]	účinnosť kombinovanej výroby tepla a elektrickej energie
$\theta_e$	[°C]	vonkajšia návrhová teplota v zimnom období
$\theta_{in}$	[°C]	vnútorná teplota vo vykurovacom období
$\theta_{m,e}$	[°C]	priemerná teplota vzduchu
$\Phi$	[W]	tepelný výkon tepelného čerpadla
$\Phi_T$	[W]	návrhová tepelná strata prestupom



SKRATKA	VÝZNAM
a pod.	a podobne
BD	bytový dom
cit.	citované
ČNB	Česká národní banka
EPS	expandovaný polystyrén
KJ	kogeneračná jednotka
KVET	kombinovaná výroba elektriny a tepla
napr.	napríklad
NN	nízke napätie
NP	nadzemné poschodie
PP	podzemné poschodie
r.	rokov
STN	stupeň tepelnej náročnosti budovy
TČ	tepelné čerpadlo
TUV	teplá úžitková voda